

Tilfældigheden og nødvendigheden ifølge Pierce og fysikken

Christiansen, Peder Voetmann

Publication date:
1986

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

Citation for published version (APA):
Christiansen, P. V. (1986). *Tilfældigheden og nødvendigheden ifølge Pierce og fysikken*. Roskilde Universitet.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain.
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact rucforsk@ruc.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

TEKST NR 118

1985

TILFÆLDIGHEDEN OG NØDVENDIGHEDEN
IFØLGE PEIRCE OG FYSIKKEN

AF: PEDER VOETMANN CHRISTIANSEN

TEKSTER fra

IMFUFA

ROSKILDE UNIVERSITETSCENTER
INSTITUT FOR STUDIET AF MATEMATIK OG FYSIK SAMT DERES
FUNKTIONER I UNDERVISNING, FORSKNING OG ANVENDELSER

IMFUFA, Roskilde Universitetscenter, Postbox 260, 4000 Roskilde

Tilfældigheden og nødvendigheden ifølge Peirce og fysikken

af: Peder Voetmann Christiansen

IMFUFA tekst nr. 118/85 40 sider

ISSN 0106-6242

ABSTRACT:

Denne tekst kan betragtes som en fortsættelse til IMFUFA tekst nr. 72, "Verden ifølge Peirce", men kan også læses selvstændigt. Hovedartiklen fremstiller det synspunkt, at naturlovenes rigide eksakthed er en illusion, og at spontaneitet, som i fysikkens begrebsramme må fremtræde som ægte tilfældighed, spiller en rolle for alle naturfænomener. Artiklen tager udgangspunkt i C.S.Peirce's kritik af den fysiske nødvendighed og går derefter over til nogle eksempler fra det 20. århundredes fysik, som Peirce ikke kendte, men som underbygger hans synspunkt. Eksemplerne er hentet fra kvantemekanikken, fra den moderne teori for kaotiske processer, samt fra termodynamikken og kosmologien. I et appendix bringes en dansk oversættelse af Peirce's artikel "The Doctrine of Necessity Examined" fra 1892.

INDHOLD:

Indledning	s. 2
1. Laplace's dæmon.	s. 3
2. Hvad er tilfældighed?	s. 4
3. Peirce's oprør mod nødvendighedens doktrin.	s. 5
4. Kvantemekaniske usikkerheder: Spiller Gud med terninger?	s. 9
5. Determinismens sammenbrud: kaos-modeller.	s.13
6. Termodynamik og kosmologi.	s.19
7. Har vi brug for en metafysik?	s.24
Noter og litteratur.	s.25
Appendix:	
C.S.Peirce: Undersøgelse af nødvendighedens doktrin.	s.27
Noter til oversættelsen.	s.40

Tilfældigheden og nødvendigheden
ifølge Peirce og fysikken.

Af
Peder Voetmann Christiansen.

Indledning.

Naturlovene er eksakte matematiske forskrifter, som muliggør en nøjagtig forudberegning af alle detaljer i et systems udvikling, når blot begyndelsestilstanden er kendt. Dette er nødvendighedens doktrin, og hvis denne påstand er rigtig, kan der aldrig komme noget nyt under solen, og viljens frihed er blot en illusion. Hvis alt hvad der sker, sker med naturlovens nødvendighed, må man forklare begrebet tilfældighed som noget, der kun kan skyldes subjektiv uvidenhed om de faktiske forhold.

Den mekaniske fysiks succes efter Newton har cementeret doktrinen i fysikken, og den fysikalske reduktionisme har bevirket, at selv biologer og psykologer ofte tror på de mekaniske naturloves absolutte determinisme. En sådan fagimperialisme er til skade for forståelsen af naturens og menneskets udvikling og kan vel også føre til problemer for den enkelte med at få sine etiske, politiske og religiøse anskuelser til at gå i spand med verdensbilledet. Er det muligt at slippe ud af denne determinismens spændetrøje?

Den amerikanske filosof C.S. Peirce (1839-1914) nægtede at acceptere doktrinen, og det var så uortodokst, at han blev fortrængt fra filosofiens Parnas og har fået langt mindre opmærksomhed, end han fortjener. Fysikken har i dette århundrede gennemgået en udvikling, som Peirce i store træk havde forudset, og er nået til et punkt, hvorfra man kan forstå og påskønne hans ideers aktualitet. I det tomrum, som er opstået efter positivismens langsomme bortvisen, har hans metafysik og videnskabsteori fået en ny brugsværdi.

1. Laplace's dæmon

Den franske matematiker og astronom Pierre-Simon de Laplace (1749-1827) var en kort tid indenrigsminister under Napoleon. Da han forklarede Napoleon om mekanikkens love, der styrer alt, udbrød denne: Men hvor er Gud i denne maskine? Laplace svarede: "En sådan hypotese har jeg ikke behov for!"

Den gamle hypotese om Gud som en styrende magt var ifølge Laplace ganske overflødig, fordi mekanikkens love muliggør en fuldstændig forudsigelse af verdens udvikling. For at illustrere det nye mekaniske verdensbillede indførte Laplace et andet hypotetisk væsen, en alvidende "dæmon", som kendte universets øjeblikkelige tilstand, d.v.s. positionerne og hastighederne for alle partikler til et givet tidspunkt. Ifølge den Newtonske mekanik er der kun eet udviklingsforløb, kun een universel historie, som til det givne tidspunkt passerer igennem den givne tilstand, og derfor vil dæmonens viden om tilstanden være ensbetydende med den totale viden om alt, hvad der er sket og vil ske.

Laplace's dæmon er det mytologiske udtryk for nødvendighedens doktrin, som i Newton's mekanik havde fundet sin matematiske form, men som kan spores langt tilbage i filosofiens historie. Grækeren Demokrit, atomteoriens første talsmand, mente at doktrinen var en konsekvens af atomernes udelelighed og ugennemtrængelighed. Det er billardbordets determinisme, som således gjordes til det sande billede af verdens gang. Epikur (341-270 f.Kr.), som levede ca 100 år efter Demokrit, var også tilhænger af atomteorien, men ikke af nødvendighedens doktrin, idet han mente, at små tilfældigheder måtte gøre sig gældende ved atomernes sammenstød, og at afvigelsen fra den totale nødvendighed og forudsigelighed var ensbetydende med den reelle eksistens af spontanitet og livskraft, det formende princip for det nyes fremkomst, som Aristoteles kaldte entelekien. Stoikerne gik til gengæld helhjertet ind for nødvendighedens doktrin på alle livets områder og forenede en firkantet materialisme med en moralsk fordømmende holdning over for doktrinen kritikere.³

Det er således ikke nødvendigt at være inde i mekanikken og den matematiske teori for eksistens og entydighed af løsninger til differentialligninger for at blive indfanget af nødvendighedens doktrin. Tanken ligger snublende nær, når man først har indset, at enhver virkning har en årsag, og den har sikkert haft sine tilhængere og fundet udtryk, så længe mennesker har haft et sprog. Som en modpol har man sikkert også altid kunnet finde udtryk for den modsatte tro, at nødvendigheden ikke er absolut, og at tilfældigheden er noget reelt. Men Newton's mekanik var et stærkt indlæg til fordel for den absolutte mekaniske determinisme, og i forbindelse med den reduktionistske tro på, at al sand forklaring dybest set måtte være mekanisk, har myten om Laplace's dæmon kunnet herske i videnskaben som udtryk for troen på, at nødvendighedens doktrin nødvendigvis måtte være sand.

2. Hvad er tilfældighed?

Spørgsmålet om, hvad tilfældighed egentlig er for noget, er i sig selv en fælde, som lokker til accept af nødvendighedens doktrin. Hvis man accepterer, at tilfældigheden skal forklares, er man nødt til at betragte noget ikke-tilfældigt, d.v.s. noget lovmæssigt eller nødvendigt som mere grundlæggende end det tilfældige, og så sidder man i saksen. Hvis nødvendigheden betragtes som det umiddelbart givne, kan tilfældigheden kun forstås som noget subjektivt betinget, en uvidenhed om de love, der styrer udviklingen eller uvidenhed om systemets nøjagtige tilstand. D.v.s. hvis man prøver at forklare tilfældigheden, har man straks fra starten indrømmet, at tilfældigheden ikke er reel. Det er nemt at falde i den fælde, fordi enhver kender det subjektive aspekt af tilfældigheden, og begrebet sandsynlighed kan sagtens forstås som noget objektivt, selv om tilfældigheden opfattes som noget subjektivt, som jeg i det følgende vil vise.

En sandsynlighedsteoretiker eller statistiker vil i de fleste tilfælde foretrække en objektiv sandsynlighedsdefinition: Sandsynligheden for en given hændelse er den asymptotiske grænseværdi for den relative hyppighed af hændelsens forekomst i en forsøgsrække, hvor antallet af forsøg går mod uendelig. Den objektive sandsynlighedsdefinition er ikke den eneste mulige, men den er i hvert tilfælde logisk konsistent, idet en veldefineret sandsynlighed for en hændelse medfører gyldigheden af "de store tals lov", som siger, at den relative hyppighed af hændelsen konvergerer mod sandsynligheden, hvis det er muligt at gentage forsøget under identiske omstændigheder et vilkårligt stort antal gange.

Det objektive sandsynlighedsbegreb fører imidlertid ikke til en opfattelse af tilfældigheden som noget objektivt, endsige noget reelt. Det er selvfølgelig forudsat, at hændelserne optræder tilfældigt i en eller anden forstand, når man bruger sandsynligheder i sin beskrivelse, men tilfældigheden er betinget af systemafgrænsningen, og vi kan altid forestille os, at hændelserne skyldes nogle mekanismer, som vi har valgt at se bort fra. F.eks. frembringes tilfældige tal på en computer af en skjult algoritme (beregningsforskrift). Vi ved altså, at tallene frembringes af en fuldstændig deterministisk mekanisme, men denne mekanisme sættes udenfor døren i vores modelunivers, og tallene kan så beskrives med sandsynligheder og gøres til genstand for statistiske tests, som nok kan afsløre korrelationer, men ikke den skjulte mekanisme eller algoritme.

Det er altså nemt nok at forklare tilfældigheden ved skjulte mekanismer, men det er også den eneste forklaring der kan gives. D.v.s. ved at acceptere, at tilfældigheden skal forklares, tvinges man til at acceptere den metafysiske doktrin, at alt i virkeligheden er betinget af deterministiske mekanismer.

3. Peirce's oprør mod nødvendighedens doktrin.

Den amerikanske filosof C.S. Peirce (1839-1914) var i årene efter 1890 en mand, som havde nået til et modent stade i sin tænkning¹. Desværre var han samtidig en isoleret skikkelse, efter at han i 1884 var blevet pludseligt afskediget fra en stilling på det nye Johns Hopkins universitet, hvor mange af de mest kreative matematikere og filosoffer var samlet. Peirce havde dog stadig et vist ry i 1890 som medlem af flere videnskabelige selskaber og en flittig brev- og artikelskribent.

Da et nyt filosofisk tidsskrift, *The Monist*, blev startet, bidrog Peirce med en serie på fem artikler (1891-93)² om metafysikken, om det værendes væsen, naturlovenes betydning og om kærligheden som den drivende kraft i udviklingen af organismer og ideer.

De fem artikler har nok bidraget yderligere til Peirce's isolation. De blev ikke forstået af samtiden, og opfattelsen af ham som en sær "crackpot" blev stærkere. Hans syn på fysikken og udviklingsteoriene må have virket som en underlig verdensfjern idealisme, som i den grad stred mod de på bjerget herskende opfattelser, at det var svært at tage det alvorligt. Redaktøren for *The Monist*, dr. Paul Carus, skrev en kommentar, hvor han især slog ned på et synspunkt fra den anden artikel³, hvor det hævdedes, at tilfældighed går forud for orden. Dette var nok, mente Carus, det svageste punkt i mr. Peirce's system.

Titlen på den anden artikel er "The Doctrine of Necessity Examined", men opgøret med nødvendighedens doktrin var allerede startet i den første artikel "The Architecture of Theories"². Peirce understreger her, at valget af, hvad der skal forklares, og hvad man skal forklare det med, må træffes ud fra et filosofisk helhedssyn, det arkitektoniske princip, som bygger på sammenhængen mellem de forskellige grene af videnskaben og forsøger at identificere de bærende konstruktioner. Vi må ikke lade os lokke til at søge en forklaring på tilfældigheden på grundlag af lovmæssigheden. Tværtimod må vi acceptere tilfældigheden som det umiddelbart givne, og vi må så på den baggrund prøve at forstå, hvad lovmæssigheder er for noget:

"At antage, at naturlove kan opfattes af forstanden men er uden grund for deres specielle former, blot fremstående som uforklarlige og irrationelle, er næppe en position som kan retfærdiggøres. Ensartetheder er præcis den slags kendsgerninger, som trænger til at blive gjort rede for. At en mønt som kastes sommetider viser krone og sommetider plat, kræver ingen særlig forklaring; men hvis den viser krone hver gang, ønsker vi at vide, hvad der har afstedkommet dette resultat. En lov er par excellence den ting, som behøver en grund."²

Peirce mener altså, at hvis vi betragter tilfældigheden som noget reelt og grundlæggende, får vi en mulighed for at forklare loven eller nødvendigheden, hvorimod et forsøg på at forklare tilfældigheden på grundlag af nødvendigheden fjerner muligheden for at forstå begge begreber. Hvis man har vænnet sig til at betragte de eksakte naturlove som det eneste legitime grundlag for forståelsen, vil man have vanskeligheder med at forstå, hvad manden mener. Hvordan kan den blinde tilfældighed bruges til forklaring af noget som helst, og hvad menes med en forklaring af en naturlov?

En forklaring af en naturlov må ifølge Peirce bestå i en redegørelse for lovens fremkomst som resultat af en udvikling. D.v.s. forklaringen må tage sit udgangspunkt i en situation, hvor loven ikke findes, og så må den kunne redegøre for en spontan tilsynkomst, en krystallisation eller nukleation af loven på en baggrund af tilfældighed.

Dette synspunkt indebærer så, at lovens eksakthed kun er en illusion. Vi kan ikke have en diskontinuert overgang fra totalt kaos til total orden, men vi må forestille os lovmæssigheden opstå som en statistisk regelmæssighed, som vokser fra en uendelig lille tendens til en mere eller mindre indgroet vane. Tilfældigheden trænges tilbage ved denne proces, men forsvinder aldrig helt, så en eksakt naturlov kan kun være en abstrakt beskrivelse af en slutilstand, som aldrig nås. Selve det naturfænomen, som loven beskriver, vil altid være underlagt et vist mål af tilfældighed, en vis slingren af fakta væk fra enhver fast formel.

Hertil vil mange, specielt fysikere, nok indvende, at naturlovenes eksakthed er en logisk nødvendighed. Hele mekanikken falder sammen, hvis ikke inertiens lov er eksakt: et legeme som ikke er påvirket af kræfter må bevæge sig eksakt efter en ret linje med en hastighed, som er eksakt konstant. Det ville være totalt ødelæggende for mekanikkens status som en logisk konsistent disciplin, hvis ikke de grundlæggende matematiske formler var eksakte.

Peirce vil ikke benægte, at de logiske og matematiske relationer mellem mekanikkens formler er eksakte, d.v.s. formlerne er nok eksakte som formler, men ikke som beskrivelse af naturfænomener. Det matematiske symbol for en hastighed er en anden slags tegn end den fysiske observable hastighed. Tilordningen af et matematisk symbol som et reelt tal til en kontinuert fysisk observabel som en hastighed etableres ved en måling. Hvis man vil argumentere for, at loven giver en eksakt beskrivelse af et naturfænomen, må man først kunne bevise, at målingen af en kontinuert observabel kan gøres eksakt, og her kommer man i vanskeligheder:

"De iagttagelser, som normalt fremføres til fordel for mekaniske årsager, beviser simpelthen at der er et element af regelmæssighed i naturen, og har intet som helst at gøre med spørgsmålet om en sådan regelmæssighed er eksakt og universel

eller ej. Nej, hvad angår denne eksakthed, så er alle iagttagelser direkte imod den; og man kan højst sige at betragtelig del af denne bemærkning kan bortforklares. Prøv at verificere en hvilken som helst naturlov, og du vil finde at jo mere præcise dine observationer er, jo sikrere er det, at de vil vise uregelmæssige afvigelser fra loven. Vi er vant til at forklare disse, og jeg siger ikke at dette er forkert, ved målefejl; og dog kan vi ikke gøre rede for sådanne fejl på nogen foregribende sandsynlig måde. Prøv at spore deres årsager tilstrækkeligt langt tilbage, og du vil blive nødt til at indrømme, at de altid skyldes tilfældige betingelser, eller chance."3

Hvad angår problemet om muligheden for elimination af målefejl, er man nødt til at indrømme, at Peirce ved hvad han snakker om. Han havde fra sin tidligste ungdom beskæftiget sig med eksperimentelle metoder i fysikken og kemien, og de mest anerkendte af hans bidrag til disse videnskaber er netop en forfinelse af visse målemetoder. F.eks. havde han udviklet en meget nøjagtig metode til måling af tyngdefeltets styrke på grundlag af pendulers svingningstid, og denne metode havde fundet anvendelse i forbindelse med geodætiske opmålinger af den amerikanske østkyst. Det er altså ikke den verdensfjerne skrivebordsfilosof, der udtaler sig i ovenstående citat, men en af Amerikas eksperter i emnet usikkerhed på målinger.

Peirce's oprør mod nødvendighedens doktrin er et grundskud mod den mekanicistiske filosofi og en koncentreret exorcisme af Laplace's dæmon. Der er tre bestanddele i argumentationen, som kun er antydnet i Monist artiklerne, men som tidligere var beskrevet af Peirce i detaljer:

A. Det pragmatiske meningskriterium. Meningen af et videnskabeligt begreb konstitueres af begrebets brug i praksis, i de vaner, som er forbundet med anvendelsen af begrebet. Hvis vi beskriver en partikels hastighed med et tal, er meningen givet dels ved de matematiske relationer, som bl.a. tillader os at beregne partiklens position til et givet tidspunkt, dels ved de eksperimentelle procedurer til måling af hastigheden. Det mekanicistiske begreb om eksakte talværdier, som noget der eksisterer uafhængigt af målinger, kan imidlertid ikke begrundes pragmatisk, fordi vi altid møder en tilfældighed, som ikke kan elimineres, når vi prøver at forfine målingen til det yderste.

B. Den semiotiske analyse. Semiotikken er den generelle teori for tegn, deres kategorier og relationer. Peirce mente, at fysiske objekter måtte opfattes som reelle, men hinsides enhver symbolsk beskrivelse, ligesom Kant talte om "das Ding an sich". Det er muligt under visse psykologiske omstændigheder at få en direkte rå chokoplevelse af en fysisk genstand som noget enestående, der sprænger alle sproglige rammer. Man kan kun pege på det og udbryde "dette". Peirce kalder denne oplevelsesmåde "hæcceitet", d.v.s. "dettehed", og argumenterer herudfra for eksistensen af en særlig slags tegn, kaldet indices efter det latinske "index", som betyder pegfinger. Et index er altså et

tegn, som hentyder direkte til et objekt uafhængigt af enhver konvention for forståelse. I modsætning hertil er symboler tegn, som kun kan forstås via en interpretant, d.v.s. en kodenøgle, som sætter symbolet (og interpretanten selv) i forbindelse med objektet via en forståelseskonvention. Selve hastigheden af en partikel må opfattes som et index, og dette må ikke forveksles med de symbolske udtryk for hastigheden, herunder dens talværdi. Målingen, som tildeler hastigheden en talværdi, er en semiotisk transformation fra index til symbol, og herved dukker der altid usikkerheder op. Disse usikkerheder kan ikke helt bortforklares som målefejl, men er uløseligt forbundet med index-karakteren af den målte størrelse.

C. Den triadiske kategorilære. Den triadiske relation mellem et tegn, et objekt og en interpretant er et erkendelsesteoretisk grundelement, som ifølge Peirce strukturerer den metafysiske opdeling af det værende i tre kategorier, 1-2-3, hvor førsteheden er uafhængig væren, andetheden er væren betinget af eller reaktion på en førstehed, og tredjeheden er formidling mellem noget første og noget andet. Det er en tilsvarende opdeling vi finder i dialektikkens formel:

1-Tese. 2-Antitese. 3-Syntese.

I diskussionen om tilfældigheden og nødvendigheden er tilfældigheden det umiddelbart givne og nødvendigheden må forstås som kontrasten, der hæver sig ud af det blinde kaos. Formidlingen mellem de to modsatte begreber kommer i stand ved at loven forstås som en vane, der gradvist etableres. Den triadiske kategorisering bruges altså på denne måde:

1-Tilfældighed. 2-Nødvendighed. 3-Vanedannelse.

Både semiotikken og kategorilæren har i Peirce's formulering en sådan bredde og generalitet, at det kan være svært at se, hvad man konkret kan stille op med det. Den store generalitet bevirker, at begreberne forekommer vage og diffuse. I det følgende skal vi imidlertid se på nogle nyere udviklinger i fysikken som kan illustrere, hvad han mente. Det er netop i kraft af den store generalitet i Peirce's tanker, at de har kunnet springe hundrede års videnskabelig udvikling over og pludselig i dag fremstår som et aktuelt alternativ til filosofisk positivisme og mekanicisme.

4. Kvantemekaniske usikkerheder: Spiller Gud med terninger?

Et af de mest slående træk ved Peirce's kritik af nødvendighedens doktrin er, at den i udpræget grad foregriber kvantefysikken, specielt Niels Bohrs fortolkning af den, kendt som Københavner-skolen, som bygger på komplementaritetens filosofien. Peirce var udmærket klar over, at den klassiske mekanik var ved at have udspillet sin rolle, og at det især var problemerne omkring atomernes bevægelse, som stillede krav om en ny mekanik, hvilket bl.a. fremgår af følgende bemærkninger fra "The Architecture of Theories" (1891)2:

"Det ser således ud til, at fremskridtet for molekylære spekulationer er usikkert. Hvis hypoteser skal afprøves på må og få, eller simpelthen fordi de passer på visse fænomener, vil det optage verdens matematiske fysikere måske et halvt århundrede i middel at få afprøvet hver teori, og da antallet af mulige teorier kan gå op i trillioner, af hvilke kun en kan være sand, har vi kun lille udsigt til at lave flere solide tilføjelser til emnet i vor tid. Når vi kommer til atomerne synes forhåndsmulighederne for en simpel lov at være magre. Der er grund til alvorlig tvivl om, at mekanikkens grundlæggende love gælder for enkelte atomer, og det virker ret sandsynligt, at de er i stand til at bevæge sig i mere end tre dimensioner."

Peirce så det som sin og filosofiens opgave at udstikke generelle retningslinjer for en ny teori, således at det ikke ville blive nødvendigt for fysikerne at lede i halvtreds trillioner år på må og få, men i bedste fald kun halvtreds år for at afprøve en enkelt ny teori, som var lige om hjørnet. Her var han både for optimistisk og for pessimistisk, for hans egen filosofi var i glemmebogen, medens Bohr gik i gang med sine filosofiske overvejelser, og kvantemekanikken var en realitet allerede i 1930. Alligevel er der stadig problemer med kvantemekanikkens fortolkning næsten 100 år efter Peirce's profetier, og måske kan hans filosofi alligevel få en chance på dette felt, da tiden nu er bedre modnet til en forståelse af hans indsats.

En af de store vanskeligheder for forståelsen af kvantemekanikken har været bruddet med nødvendighedens doktrin og accepten af tilfældigheden som et uomgængeligt element i naturforståelsen. Einstein havde meget svært ved at foretage denne omstilling af sine tankebaner. Det kom bl.a. til udtryk i hans berømte bemærkning "Gud spiller ikke med terninger", hvortil Bohr som bekendt svarede "Hold op med at fortælle Gud, hvad han skal gøre".4

Endnu i dag er der mange fysikere, som søger at slippe fri fra tilfældigheden i kvanteverdenen og tilbage til nødvendighedens sikre favn ved at postulere såkaldte skjulte variable, som hvis vi kendte dem ville muliggøre en deterministisk teori. En af de mest kendte fortalere for skjulte

variable er amerikaneren David Bohm (fra 1957 professor i London), som i tidens løb har indført flere varianter af dem. Det er dog karakteristisk for skjulte variable, at deres egenskaber bliver mere og mere besynderlige, efterhånden som tiden går, og de skal leve op til flere og flere eksperimentelle resultater.

De seneste varianter af skjulte variable har været ikke-lokale, d.v.s. hvis de ændres ved en proces i et punkt A, så vil det afstedkomme en øjeblikkelig virkning i et helt andet punkt B.⁵ Dette er i modstrid med relativitetsteoriens postulat om lokalitet, som jo siger, at årsags-virknings forhold ikke kan forplante sig fra A til B med en hastighed, som er større end lysets. De fleste fysikere mener, at ikke-lokaliteten ligger begravet i selve kvantemekanikken, også når der ikke indføres skjulte variable, men den er så lumsk begravet i formalismen, at den unddrager sig kontrol, og den er derfor uanvendelig til kommunikation med overlyshastighed⁶. Hvis der virkelig eksisterede ikke-lokale skjulte variable, måtte det i princippet være muligt at gribe fat i disse mekanismer og udnytte dem til at påvise uoverensstemmelser med relativitetsteorien, men intet tyder på, at det i praksis kan lade sig gøre.

Peirce ville sikkert opfatte skjult variabel teorierne som forsøg på at redde nødvendighedens doktrin - og alene af den grund suspekte. Ikke-lokaliteten ville ikke bekomme ham vel, selv om han ikke kendte relativitetsteorien. Ideen om en fjernvirkning, som ikke behøvede at forplante sig gennem det kontinuerede rum for at skabe berøring fra nær til fjern var i modstrid med hans ideer om kontinuet som et kontaktskabende medium⁷, (selv om han indrømmede, at der kan være andre "usynlige" rum, som skaber kontakten). Desuden ville han nok (med henvisning til det pragmatiske meningskriterium) sige, at hvis begrebet ikke-lokalitet ikke betyder noget eller kan komme til at betyde noget i praksis, så er det ikke reelt, så må det være en fejlfortolkning af formalismen og dens gyldighedsområde.

Det ville føre for vidt at komme nærmere ind på ikke-lokalitets-diskussionen, som går helt tilbage til en artikel af Einstein, Podolski og Rosen fra 1935⁸. Efter de nyeste eksperimentelle resultater fra Alain Aspect og hans medarbejdere i Paris ser det ud til at skjult variabel teorierne er på retur, og herved kobler ikke-lokaliteten til hovedemnet tilfældighed og nødvendighed, da nødvendighedens doktrin ikke kan opretholdes uden skjulte variable.

Tilfældigheden har spillet en stor rolle i kvanteteorien lige fra dens fødsel i 1899 ved Planck's analyse af den termiske udstråling fra et sort legeme. Planck's udgangspunkt var termodynamikken, specielt begrebet entropi, som er et mål for graden af tilfældighed i energiens fordeling på de mikroskopiske (atomare) frihedsgrader. En energi, som er fordelt ud på tilfældige atom- og molekylbevægelser, er det samme som varme. Man kan sige, at varmen er en energiform med høj entropi, medens mekanisk energi er fri for entropi. Entropien har en tendens til

at vokse, d.v.s. mekanisk energi kan spontant "degradere" til varme, hvorimod den omvendte proces ikke finder sted af sig selv. Et varmt legeme udsender elektromagnetisk stråling, som transporterer entropi bort fra legemet. Denne stråling er altså varmeenergi, som kan tilskrives en temperatur svarende til overfladens temperatur på det udstrålende legeme. F.eks. er sollyset en varmestråling med en temperatur på ca 6000 grader.

Problemet med varmestrålingen var på Plancks tid at der ikke synes at være nogen naturlig grænse for antallet af elektromagnetiske frihedsgrader, hvilket tilsyneladende medførte en totalt udefineret entropi og en uendelig energi. Planck løste problemet ved at postulere eksistensen af en ny naturkonstant, virkningskvantet, som begrænsede energiudvekslinger mellem varmebadet og strålingsfeltet til diskrete kvanter. Herved blev det muligt for Planck at levere en konsistent definition af entropien og udlede en formel for den spektrale fordeling af varmestrålingen, som var i overensstemmelse med eksperimenterne.

Plancks kvanteteori førte til, at lyset, som alle vidste var en slags bølger, pludselig måtte anskues som partikler. Dette synspunkt blev fastslået endnu kraftigere af Einsteins teori for den fotoelektriske effekt fra 1905. Senere viste deBroglie, at Bohrs teori for de stationære elektronbaner i atomet kunne forklares ved at tilskrive elektronerne (som alle vidste var partikler) bølgeegenskaber. Schrödinger fulgte ideen op med sin bølgeligning, og mange fysikere (bl.a. Einstein) troede, at bølgebilledet kunne redde fysikken fra de mystiske tilfældige kvantespring, som optrådte i Bohrs teori. Det var imidlertid vanskeligt at forstå og definere, hvad bølgen egentlig beskrev ved partiklerne.

I 1926 foreslog Max Born den statistiske fortolkning af Schrödingers bølgefunktion, nemlig at bølgefunktionens absolutkvadrat angiver sandsynlighedstætheden for at finde partiklen i et bestemt punkt af rummet. Herved var der lagt op til en debat om tilfældighedens rolle i den grundlæggende fysik, som endnu ikke er afsluttet. Paradokset er, at Schrödingerligningen, som styrer bølgefunktionens udvikling, er fuldstændig deterministisk. Der er altså ingen tegn på tilfældighed i de grundlæggende formler, og det er tilsyneladende kun, når bølgefunktionene skal fortolkes i termer af normale fysiske observable, at der synes at være behov for at introducere tilfældigheden.

Den Københavnske løsning på problemet blev udarbejdet af Bohr og Heisenberg i 1927. Tanken var, at det er selve den konkrete fysiske måleproces, som giver anledning til, at tilfældigheden dukker op. Heisenberg formulerede sine usikkerhedsrelationer og gennemregnede nogle tankeeksperimenter, som skulle illustrere, at målingen forstyrrer det undersøgte systems egenskaber, således at det bliver umuligt at foretage en samtidig nøjagtig bestemmelse af stedet og hastigheden for en partikel. Hvis vi satser på en nøjagtig stedbestemmelse, skal vi bruge kortbølget lys, men kvanterne af lyset er mere energirige,

jo kortere bølgelængden er, og derfor vil et kortbølget lyskvantum give partiklen et ordentligt puf, som gør hastigheden ubestemt. Omvendt, hvis vi vil lave en nøjagtig hastighedsmåling skal vi bruge energisvage lyskvanter, men disse har lang bølgelængde, og herved umuliggøres en nøjagtig stedbestemmelse, idet usikkerheden på stedet er mindst lige så stor som bølgelængden.

Bohr var ikke tilfreds med Heisenbergs "forstyrrelsesteori" fordi han mente, at det var filosofisk utilfredsstillende at antage, at partiklerne har nogle sande værdier af egenskaber som sted og hastighed, når det er principielt udelukket at få samtidigt kendskab til disse værdier. Han ville gerne indrømme, at virkningskvantiseringen medfører en endelig og ukontrollabel vekselvirkning mellem måleapparatet og det mikroskopiske system, og at denne vekselvirkning nødvendiggør formalismens element af tilfældighed, men det ligger nok hans tankegang nærmere at sige, at egenskaberne skabes ved målingen, fremfor at de forstyrres. Imidlertid advarer han mod brugen af begge de to ord "forstyrrelse" og "skabelse" af egenskaber i følgende citat⁹:

"Sådanne udtryk kan vel tjene til at minde om de tilsyneladende paradokser i kvanteteorien, men er på samme tid vildledende, fordi ord som "fænomener" og "iagttagelse" ligesom "attributter" og "målinger" benyttes på en måde, der næppe er forenelig med sædvanligt sprog og praktisk definition."

Vanskeligheden ved at forstå og fremstille Bohrs komplementaritetsteori beror til dels på, at ganske almindelige ord og billeder således belægges med tabuer. Man er næsten nødt til at citere ham ordret, hvis man vil undgå at forsynde sig. Hvis Bohr havde haft en logisk tegnteori som Peirce's semiotik at bygge på, ville det nok have været nemmere både for ham og os andre at præcisere ordenes betydning og derved undgå ubehagelige forbud.

Bohr kendte ikke (i 1927) Peirce's 35 år gamle oprør mod nødvendighedens doktrin, hvilket man i dag kan beklage, da det kunne have hjulpet til en logisk fundering af komplementaritetsteorien og lettet forståelsen af de generelle vilkår for beskrivelse, som kvanteteorien sætter i focus. Som fremhævet i foregående afsnit er Peirce's semiotik tilstrækkelig generelt formuleret til at omfatte både "sædvanligt sprog" og "praktisk definition", såvel som det for kvantemekanikken afgørende forhold, at symbolske egenskaber sættes af den eksperimentelle kontekst, hvorved tilfældigheden nødvendigvis dukker op.

Det siges ofte i populære fremstillinger, at kvantemekanikken har lært os, at naturen ikke retter sig efter den sunde fornuft. Sådan forholder det sig heldigvis ikke. Kvantemekanikken har sprængt den positivistiske erkendelsesteori ved hjælp af sund fornuft, som allerede Peirce formulerede.

5. Determinismens sammenbrud: kaos-modeller.

I de sidste 10 år har diskussionen om tilfældighed og nødvendighed i fysikken fået en ny og uventet drejning gennem opdagelsen af en stor klasse af deterministiske matematiske modeller med kaotisk opførsel. Modellerne er som sagt deterministiske, d.v.s. hvis begyndelsestilstanden er kendt, giver beregningen en entydig forudsigelse af alle fremtidige tilstande, men tilstandsforløbet er så kompliceret, at det frister til brugen af ordet "kaotisk".

Modeller af denne art kan sammenlignes med de algoritmer, som anvendes i computere til frembringelse af tilfældige tal, og på den måde repræsenterer de altså ikke noget nyt. Der er dog den afgørende forskel, at medens tilfældigtals algoritmerne er bevidst konstruerede med henblik på en springende og matematisk uoverskuelig adfærd, så er kaosmodellerne som regel defineret ved pæne kontinuerte funktioner, som ser ud til at give et glat og overskueligt tilstandsforløb, lige indtil man prøver at gennemregne det.

Tilfældigtalsalgoritmer ser grimme ud og opfører sig grimt, medens kaosmodellerne ser pæne og tilforladelige ud, men opfører sig lige så grimt. Situationen er velkendt, men man har ikke tidligere været så opmærksom på den. De fleste matematikere kender en situation, hvor man prøver at løse en ligning numerisk ved iteration (d.v.s. gentagen brug af samme algoritme): man gætter en løsning og indsætter i ligningen for at se hvor godt den passer. Den fundne uoverensstemmelse indsættes så i en af de kendte iterationsformler, f.eks. Newton's eller "regula falsi" og herfra fås et nyt bud på løsningen, som så igen indsættes i formlen o.s.v.. Man forventer så, at iterationsmetoden sikrer en konvergens mod den rigtige løsning, men en gang imellem vil man opleve, at tallet ikke konvergerer mod noget, men springer frem og tilbage på en uregelmæssig måde. Det snakker man i reglen ikke så højt om, men man skynder sig at prøve en af de andre iterationsmetoder, indtil man finder en der konvergerer, og så er det det resultat, der kan bruges, medens de tidligere er lige til papirkurven.

En tilsvarende situation kan opleves af en kemiker, som vil studere kinetikken af en forholdsvis simpel reaktion, og som finder, at koncentrationerne af de indgående reaktanter og reaktionsprodukter svinger op og ned på en underlig uforudsigelig måde. For 10 år siden ville den slags resultater være lige til papirkurven, men i dag er de i høj grad publikationsværdige som opdagelse af en ny kaotisk reaktion.

Kaotisk opførsel, hvor man ville vente noget lovbundet, er altså langt fra noget nyt, men det er pludselig blevet interessant. Her er et soleklart eksempel på det fænomen, som videnskabsteoretikeren Thomas Kuhn har kaldt et paradigmeskift. Tidligere observationer af fænomenet har været fortrængt fra

"normal science", de har simpelthen ikke kunnet publiceres, men i dag er studiet af kaosmodeller i højeste grad et centralt emne og man kan undre sig over, at fortrængningen tidligere har kunnet fungere så effektivt.

Kaos-teoretikeren Robert G. Helleman holdt i foråret 82 et foredrag på Niels Bohr Institutet, hvor han gav skarpt og polemisk udtryk for denne undren: "Det er en skandale, at denne viden, som har eksisteret siden Poincaré's tid (o. 1900), i den grad har været fortrængt fra lærebøger i mekanik. Den mængde af mekaniske modeller, som ikke viser kaotisk adfærd, er forsvindende lille, men har været enerådende i lærebøgernes eksempler og opgaver". (Citeret efter hukommelsen og ikke helt præcist, men i hvert tilfælde ikke mere polemisk, end det var i virkeligheden).¹⁰

Ovenstående definition af kaosmodeller som deterministiske modeller, der "ser pæne ud, men opfører sig grimt" virker noget ulden og upræcis, og man skulle ikke tro, at der var noget matematisk indhold i den. Det har imidlertid vist sig muligt at give en ganske præcis matematisk formulering af de tilsyneladende vage udtryk. Den matematiske teori er imidlertid så kompliceret, at det ville føre alt for vidt at indføre den her, så i stedet vil vi betragte et eksempel, som forhåbentlig kan klargøre, hvad det drejer sig om. (Eventuelle læsere, som ikke har det så godt med matematikken, bør ikke hoppe af her, for selv om eksemplet vedrører en matematisk model, er det ikke tal og ligninger, men et visuelt indtryk, det leder frem til).

Systemøkologen R. May henledte i 1974 opmærksomheden på følgende uskyldigt udseende model, som bl.a. kan bruges til beskrivelse af "logistisk vækst" af en population af bakterier i en petriskål:¹¹

$$x_{n+1} = A \cdot x_n \cdot (1 - x_n) \quad (1)$$

Her er x_n et tal mellem 0 og 1, som angiver populationens størrelse til tiden n . Tiden er altså diskret i denne model og angives ved en heltalsvariabel. Størrelsen A er en parameter, som skal fastholdes på en værdi mellem 1 og 4 under vækstforløbet. Vi starter altså med at vælge en værdi for A i dette interval. Så vælges en startpopulation x_0 , som indsættes på højre side af ligning (1). Udregningen giver os så den næste værdi x_1 , som så indsættes, og vi får x_2 , o.s.v.

Normalt beskrives logistisk vækst ved en differentiaalligning i kontinuert tid, men modellen (1) vil for rimeligt små værdier af parameteren A simulere et vækstforløb, som fuldstændigt ligner det man får fra den kontinuerlige model. Sætter vi f.eks. $A=2$ og starter med en population $x_0=0.1$, finder vi af ligning (1) følgende forløb:

$$x_1=0.18; x_2=0.30; x_3=0.42; x_4=0.49; x_5=0.50; x_6=0.50; \dots$$

altså en pæn og rolig vækst op mod en stationær værdi for

populationen. Hvis vi starter med en population $x_0=0.9$, som er større end den stationære værdi (0.50), finder vi: $x_1=0.18$, og derefter er forløbet det samme som før. Ligegyldigt hvilken startpopulation vi vælger i det åbne interval mellem 0 og 1, vil vi ende med en stationær population på 0.50. Vi siger derfor, at systemet har en punkt-attraktor, nemlig punktet $x=0.5$, som tiltrækker alle mulige andre punkter.

Hvis vi gennemfører simulationen for mindre værdier af parameteren A , f.eks. $A=1.5$, finder vi et tilsvarende forløb, men punkt-attraktoren er nu noget mindre, nemlig $x=1/3$. Da punkt-attraktoren er den værdi af x , som ved indsættelse i højresiden af (1) giver samme værdi igen, indser man let, at denne værdi kan bestemmes ved løsning af ligningen

$$x = A \cdot x \cdot (1-x); \text{ d.v.s. } x = 1-1/A. \quad (2)$$

(Ligning (2) udtrykker blot, at x_{n+1} er det samme som x_n i ligning (1), d.v.s. at iterationen har nået sit fikspunkt). Hvis $A=3.5$ skulle man altså vente at finde en punkt-attraktor i $x=0.71$, men hvis man prøver at simulere et vækstforløb med denne A -værdi, finder man ikke nogen stationær slutværdi, men efter en vis tid et cyklisk forløb mellem de fire værdier 0.50, 0.87, 0.38 og 0.83. I dette tilfælde er der altså en cyklisk attraktor med perioden 4, eller kort: en 4-attraktor. Endelig, for $A=3.9$ finder vi ingen periodicitet, men et kaotisk forløb, hvor x -værdien efterhånden kommer vilkårligt tæt til ethvert punkt i et åbent interval uden nogen genkendelig rytme. Det pågældende åbne interval kaldes en underlig attraktor (strange attractor).

Hvis vi sætter en computer til udregne følgen af x -værdier, kan det gå meget hurtigt, systemet finder lynhurtigt ind i sin attraktor, hvadenten det er en simpel punkt- eller periodisk attraktor, eller en af de underlige, kaotiske. Hvis vi nu lader maskinen regne løs samtidigt med at værdien af parameteren A ganske langsomt forøges, så kan vi studere vejen til kaos fra den simple punktattraktor til de underlige attraktorer: er der en systematik i det, og er der struktur i det kaotiske? På fig. 1 ses et oversigtsbillede af situationen. En bestemt værdi af A svarer til en vandret linje i diagrammet, og på hver sådan linje har maskinen afsat et punkt for hver funden x -værdi. Samtidigt med at A forøges flyttes linjen opad, således at de afmærkede punkter kommer til at vise hvordan attraktoren ændrer karakter som funktion af A .

Når A starter med en værdi under 3, har vi først en simpel punktattraktor, men når vi passerer 3, sker der en bifurkation d.v.s. en forgrening til en 2-attraktor. Dette fænomen ses som en togrenet gaffel nederst på fig. 1. Højere oppe bifurkerer hver af de to grene igen (ved $A=3.44$), så vi får en 4-attraktor, som lidt højere oppe bliver til 8, til 16 o.s.v. Figuren viser ikke alle detaljerne, men der sker faktisk uendelig mange bifurkationer på stykket fra $A=3$ til $A=3.57$, og så har vi overgangen til kaos. Hele denne vej til kaos gennem

periodefordoblinger af attraktoren danner en træagtig struktur, som kaldes figentræet til ære for dens opdager M. Feigenbaum.¹² På fig. 2 vises parameterområdet omkring overgangspunktet 3.57 forstørret, så vi kan se lidt flere detaljer, men vi kan naturligvis ikke på en enkelt figur få alle forgreningerne med.

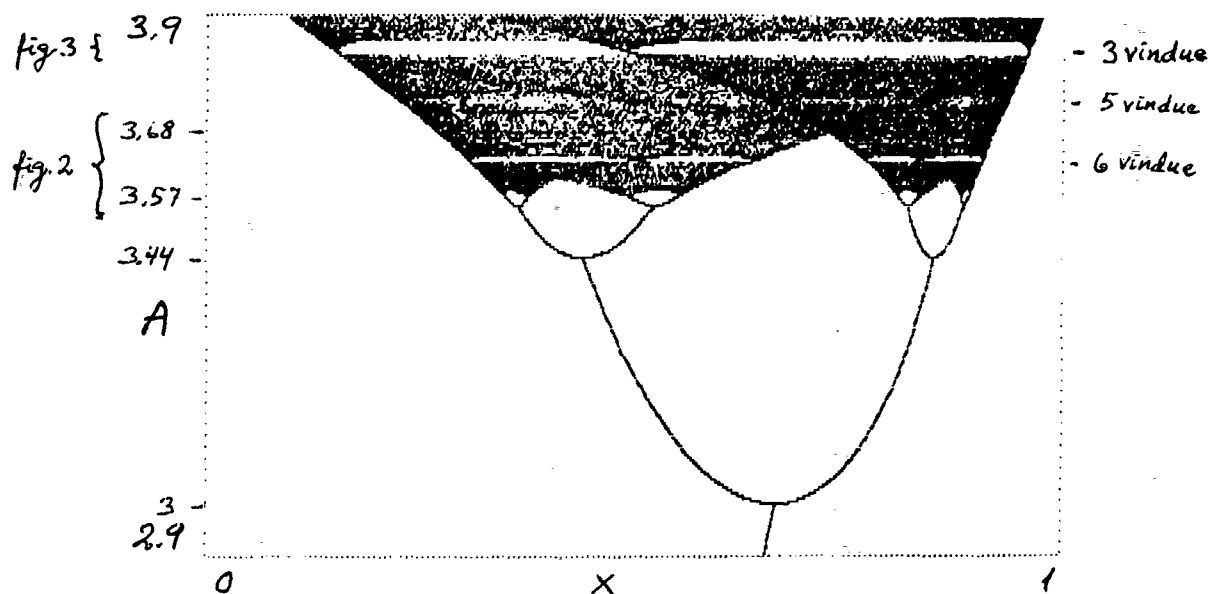


Fig. 1 Figentræet. Vejen fra orden til kaos for den logistiske model, lign. (1).

Det kaotiske område for A -værdier større end 3.57 viser sig på fig. 1 som et eller flere svættede intervaller på x -aksen. Lige ved overgangen er der uendelig mange intervaller, svarende til figentræets uendelig mange grene, men for større A -værdier smelter intervallerne sammen to og to ved "omvendte bifurkationer" og for A større end ca 3.68 består den underlige attraktor af et enkelt sammenhængende interval. Dette er dog ikke hele historien, for inde i det kaotiske område er der vinduer, hvor attraktoren pludselig bliver periodisk igen. Øverst på figuren ses det store 3-vindue, og længere nede kan vi skimte et 5-vindue og et 6-vindue. På fig. 2 ser vi 6-vinduet i en forstørret udgave. I virkeligheden indeholder det kaotiske område mindst et vindue for hvert eneste naturligt tal, men de fleste af disse vinduer er meget små, hvilket er ret nødvendigt, da der jo skal være plads til uendelig mange af dem i det endelige parameterområde fra 3.57 til 4.

Et andet karakteristisk træk ved det kaotiske område, som tydeligt ses på fig. 1 og 2 er linjerne på kryds og tværs. Disse linjer viser, at punktet x under sin kaotiske bevægelse i en underlig attraktor kommer hyppigere nogle steder end andre. Linjernes forløb aftegner et systematisk mønster med fascinerende former. Kaos er ikke bare kaos, men en uendelig rigdom af strukturer inden i strukturer. Lovmæssigheder dukker

op på et højere niveau og skaber et behov for helt nye typer af beskrivelsesmåder og teorier, som vi aldrig ville have opdaget, hvis vi havde klamret os til nødvendighedens doktrin. Det fascinerende nye land, som åbner sig for forskningen, er forklaringen på kaosmodellernes paradigmatisk kraft.

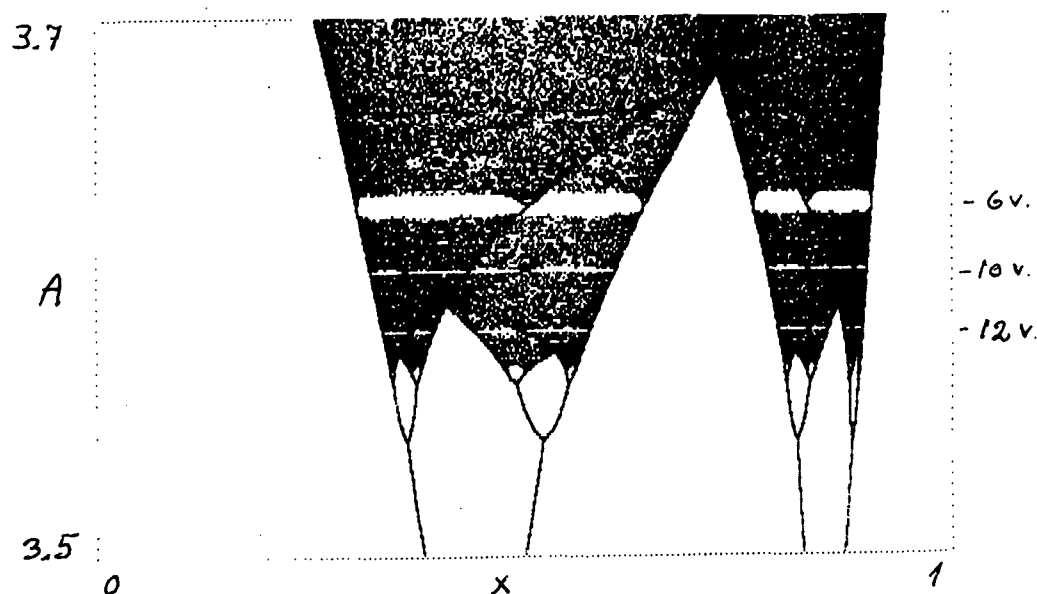


Fig. 2 Udsnit af figentræet (sml. fig. 1) omkring overgangen til kaos og 6-vinduet.

Som et eksempel på et nyt forskningsområde, der har forbindelse med kaos-teorierne kan nævnes fractal-geometrien. Fractal begrebet, der er udviklet af B.Mandelbrot¹³, tager sigte på at beskrive det forhold, at naturlige former indeholder strukturer, der gemmer sig inden i strukturer efter et ligedannethedsprincip, ligesom kinesiske æsker. F.eks. vil et naturligt vandløb, som ikke er blevet rettet ud af Hedeselskabet eller andre entreprenører, indeholde slyngninger inden i slyngninger, som har stort set samme form uafhængigt af landkortets længdeskala.

Det er ret let at opdage fractale træk ved de underlige attraktorer for kaos fænomenerne. På fig. 3 ses et udsnit af figentræets kaotiske område omkring det store 3-vindue. Vi ser, at det der på fig. 1 ligner en tredobbelt attraktor inden i vinduet, i virkeligheden er tre komplette figentræer. Vi kan endda skimte 3-vinduet inden i 3-vinduet og således få et indtryk af den uendelige dybde i figuren.

Hvis parameteren A har en værdi omkring 3.82, lige under 3-vinduet, ses en udpræget kaotisk opførsel af x -variablen. Når A så langsomt forøges og vi træder ind i vinduet, sker der en drastisk overgang fra kaos til orden: Pludselig afløses den tilfældige bevægelse af en fuldstændig lovbunden periodisk

svingning mellem tre værdier. Det er et eksempel på Peirce's ide om vanen, der udkrystalliserer sig af kaos og bliver til en lov. Hvis A fortsætter med at vokse langsomt, vil lovmæssigheden starte med at bifurkere efter Feigenbaums skema for til sidst at ende i kaos igen.

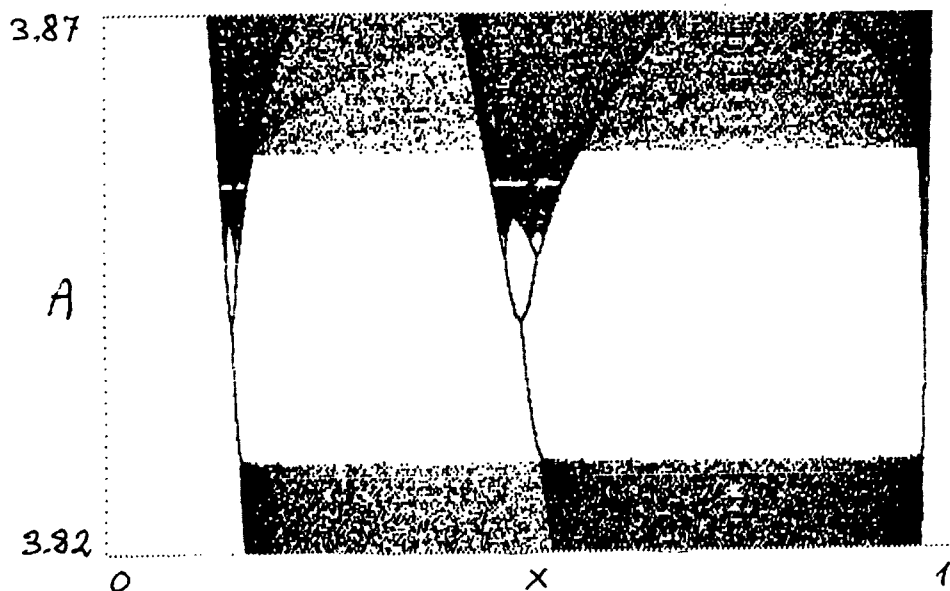


Fig. 3 Udsnit af figentræet fra fig. 1 omkring 3-vinduet.

Hvis figentræet kun skildrede forholdene for den logistiske vækstmodel (1), ville det kun være en kuriositet, men sådan er det ikke. Figentræet er universelt, d.v.s. de kvalitative træk i dets fraktale geometri kan genfindes i en lang række fænomener hvor vi har en overgang mellem orden og kaos. Den matematiske teori for sådanne overgange har kunnet identificere nogle få "familjer" af sådanne overgange. Hvis en overgang sker ved periodefordoblinger af cykliske attraktorer, kan vi være sikre på, at den også udviser de andre karakteristiske træk ved figentræet, såsom omvendte bifurkationer og vinduer. Eksperimentelle undersøgelser har kunnet påvise sådanne træk i forbindelse med bl.a. turbulente væskestrømninger og kemiske reaktioner.

For ti år siden var de kvantitative matematiske computer modeller det glade budskab i matematikundervisningen. Man troede at dette redskab kunne bruges til forudsigelse af verdenssamfundets voksende overbefolkning, sildefiskeriet i Nordsgen og Danmarks økonomi. Kaosmodellerne har kuldkastet denne blinde tro på computerens evne til at gå Laplace's dæmon i bedene. Det deterministiske paradigme er i praksis brudt sammen, men til gengæld har vi lært at stille spørgsmål om systemers dynamik på en ny, kvalitativ måde. Det har resulteret i opdagelsen af lovmæssigheder på et højere niveau og sat virkelighedens lagdelte mangfoldighed i relief.

6. Termodynamik og kosmologi.

Termodynamikken, eller varmelæren, er den fysikdisciplin hvor begreberne tilfældighed og spontanitet trives mest hjemmevant, og hvor nødvendighedens doktrin som følge deraf aldrig har kunnet gøre sig gældende. Der er derfor et skarpt modsætningsforhold mellem termodynamikken og mekanikken, og megen frustration blandt fysikere hidrører fra forgæves forsøg på at bevise termodynamikkens hovedsætninger på grundlag af mekanikken. Hvis nødvendighedens doktrin antages at være sand, er det nemt nok at bevise ud fra mekanikkens love, at termodynamikken ikke kan være rigtig, men problemet er jo så, at det erfaringsområde termodynamikken vedrører er så umiddelbart tilgængeligt for erfaringen, at de termodynamiske love dårligt kan betvivles, med mindre man ser bort fra dagligdags sanseindtryk og almindelig praktisk fornuft.

Modsætningsforholdet til mekanikken vedrører især begreberne irreversibilitet og spontaneitet. I termodynamikkens anden hovedsætning indføres en tilstandsfunktion entropien, og det postuleres:

Ved en spontan proces i et isoleret system vil entropien altid vokse.

Hvis vi lægger et stykke sukker i et glas vand og venter lidt, kan vi se, hvad sætningen handler om. Der sker en spontan proces idet sukkeret går i opløsning, og hvis man for begyndelses- og sluttilstanden udregner eller måler entropien, vil man se, at den er vokset, samtidig med at suktermolekylerne er blevet spredt ud i vandet.

En streng mekanisk forklaring af anden hovedsætning er umulig af to grunde. For det første, fordi mekanikken bygger på nødvendighedens doktrin, som udelukker at noget kan ske af sig selv uden angivelig årsag, d.v.s. spontant. For det andet, fordi mekanikkens love er reversible, ude af stand til at skelne mellem den positive og den negative retning på tidsaksen, og derfor ikke kan forklare eksistensen af en fysisk størrelse, som kan vokse, men aldrig aftage.

Hvis vi har optaget en film af sukkerknalden der opløses og så viser denne film baglæns for et udvalgt publikum bestående af en termodynamiker og en mekaniker, så vil termodynamikeren straks kunne se, at der er noget galt. Det man ser er jo en spontan proces, hvorved opløsningen adskilles i en fast sukkerblok og en ren vandfase, og herved aftager entropien, hvilket er umuligt. Mekanikeren derimod kan ikke finde noget i sin mekanik, som forbyder suktermolekylerne at lejre sig på den specielle måde, hvorved sukkerknalden dannes. Det er et helt regulært mekanisk forløb og i princippet ikke mere mærkeligt end det man havde set, hvis filmen var kørt den rigtige vej. Mekanikken kan ikke opfatte processen som spontan, da den er

strengt determineret af de molekulære kræfter og begyndelsestilstanden, og for hver begyndelsestilstand, der fører til det rigtige forløb, vil der være en "tidsvendt" begyndelsestilstand, der fører til det naturstridige baglæns forløb. Der er ikke noget i mekanikken, som kan forklare at de tidsvendte tilstande åbenbart ikke forekommer i naturen.

Mekanikkens love er reversible, d.v.s. de gælder lige så godt for det tidsvendte forløb som for det rigtige. Derfor kan man aldrig ud fra mekanikken alene forklare, at den virkelige verden opfører sig irreversibelt. Det er endda ikke alene for mekanikken, at reversibiliteten gør sig gældende. Også elektrodynamikken og andre klassiske feltteorier er i bund og grund reversible. Hvis irreversible effekter inddrages i disse grundlæggende klassiske områder, er det altid som et fremmedelement, der kommer andetsteds fra.

Hvis vi i en mekanisk sammenhæng taler om gnidningsmodstand er det netop sådan et irreversibelt fremmedelement, der dukker op. Gnidningen kan jo kun dæmpe bevægelse, ikke sætte den igang, og den fungerer derfor som en læk, der dræner den mekaniske energi ud af systemet. Termodynamikkens første hovedsætning fortæller os, at denne energi bliver til varme, men mekanikken alene, det deterministiske beskrivelsesapparat, kan ikke gøre rede for varmen, som er et statistisk fænomen. Så snart der kommer irreversibilitet ind i billedet, kommer der også tilfældighed, og derfor kan gnidningsfænomener aldrig forekomme i en strengt deterministisk teori. Hvis der er dissipation i systemet, d.v. s. tab af energi, vil der uvægerligt også være fluktuationer eller støj. Denne erkendelse er det kvalitative indhold af fluktuations-dissipations-teoremet af Callen og Welton (1951)14.

Peirce var klar over denne kvalitative sammenhæng og brugte den som argument for, at tilfældigheden gør sig gældende bag hver eksakt naturlov. Hvis loven skal forstås som resultat af en udvikling, er det en irreversibel udvikling, en vane der opstår og og betinger sin egen fortsatte eksistens. Vi kender bedst denne proces fra den mentale udvikling af nye ideer og generelle begreber:

"Når en forstyrrelse af følelse finder sted, har vi en bevidsthed om at blive rigere, en erfaring rigere; og en ny forstyrrelse er tilbøjelig til assimilere sig til den der gik forud. Følelser som vækkes bliver lettere at vække, specielt på de måder de tidligere er blevet vækket på. Bevidstheden om en sådan vane udgør et generelt begreb."2

En forklaring af de eksakte naturlove må derfor tage sit udgangspunkt i de ikke-eksakte love for sindets vanedannelse og i de hermed beslægtede irreversible fysiske love for gnidningsfænomener:

"Vanens lov udviser en slående kontrast til alle fysiske love i karakteren af dens herredømme. En fysisk lov er absolut.

Den kræver en eksakt relation. Således indfører en fysisk kraft i en bevægelse en del-bevægelse, som skal kombineres med resten ved kræfternes parallelogram; men del-bevægelsen må faktisk finde sted nøjagtigt som kraftloven kræver. På den anden side kræves ingen eksakt konformitet af den mentale lov. Nej, eksakt konformitet ville være i direkte modstrid med loven, da det straks ville krystallisere tanken og forhindre al yderligere vanedannelse. Sindets lov kan gøre det mere sandsynligt, at en given følelse opstår. Den ligner således de "ikke-konservative" kræfter i fysikken, såsom viscositet og lignende, som skyldes statistiske ensartetheder i de tilfældige sammenstød af trillioner af molekyler."²

Den irreversible overgang fra tilstanden før til tilstanden efter vanens opståen kan med moderne fysisk terminologi karakteriseres som et spontant symmetribrud. Situationen før har en symmetri: alle handlingsmuligheder er lige gode, men denne symmetri brydes ved vanens fremkomst.

I termodynamikken har spontane symmetribrud længe været kendt i forbindelse med faseovergange. Et stykke rødgldende jern er ikke magnetisk, men hvis vi langsomt lader det afkøles, vil der ved en bestemt temperatur, Curiepunktet, ca 800 grader Celsius, ske en spontan magnetisering i en bestemt retning. Over Curiepunktet er der ikke nogen retning i rummet, der udmarker sig frem for de andre, systemet har en fuldkommen rotationssymmetri, men denne symmetri brydes spontant ved faseovergangen. Grunden til at magnetiseringen vælger at stille sig i en bestemt retning må være, at der tilfældigvis var en magnetisk fluktuation i denne retning ved passagen af Curiepunktet, og denne fluktuation bliver selvforstærkende: en vane er opstået.

De spontane symmetribrud markerer overgangen hvor orden opstår ud af kaos. I termodynamiske systemer langt fra ligevægt kan der pludselig opstå ordnede mønstre, såkaldte dissipative strukturer, som stabiliserer sig selv, når de første kim er dannet. Den belgiske kemiker Ilya Prigogine fik i 1977 Nobelprisen for at have studeret sådanne fænomener. I bogen "Order out of Chaos"¹⁵ fortæller Prigogine og hans medarbejder Isabelle Stengers om disse fænomeners betydning for forståelsen af den biologiske og førbiologiske evolution og om det nye paradigme, som følger af opgøret med mekanikkens reversible og deterministiske verdensbillede. Henimod slutningen af bogen citeres en passage af Peirce's tanker om tilfældighedens rolle som opbygger af orden, og forfatterne beklager, at de ikke har kunnet afse mere plads til denne filosof's arbejder. Åbenbart har Prigogine først ved afslutningen af den engelske udgave af bogen opdaget, at Peirce havde formuleret hans egne ideer for næsten hundrede år siden, for i den tidligere franske udgave af bogen (med titlen "La Nouvelle Alliance") er der ingen henvisning til Peirce.¹⁶

Irreversibilitet og spontanitet er realiteter i fysikkens verden, som ikke kan forenes med nødvendighedens doktrin og

derfor ikke kan forklares rent mekanisk. Det betyder ikke, at mekanikken er forkert, men kun at den ikke er tilstrækkelig. Der må mere til en verdensforståelse end mekanik, og vi kan ikke reducere beskrivelsen af naturfænomener til atomer og elementarpartikler. Det hjælper heller ikke, at den klassiske mekanik er blevet afløst af kvantemekanikken, som ikke har givet en forklaring på irreversibilitetens gåde, selvom Bohr og andre klart indså, at selve måleprocessen sætter irreversibiliteten som et uomgængeligt vilkår for beskrivelse.

Fysikkens udvikling i det tyvende århundrede har været præget af en hård kamp med de paradokser, som følger af nødvendighedens doktrin, og en nøjsommeligt vundet erkendelse af at virkeligheden ikke kan forstås "nedefra" på grundlag af den rent mekaniske beskrivelse af elementarpartiklers bevægelser. Irreversibiliteten kommer fra de kosmologiske niveauer, universets udvidelse, som betinger de store temperaturforskelle mellem det kondenserede stjernestof og den elektromagnetiske baggrundsstråling¹⁷.

Indtil ca en million år efter "the big bang", som startede universets udvidelse, må man forestille sig, at stof og stråling var i termodynamisk ligevægt, som en lysende plasma med en ensartet høj temperatur. Udvidelsen medførte imidlertid et konstant temperaturfald, og på dette afgørende tidspunkt var temperaturen blevet så lav, at elektronerne kunne fastholdes af atomkernerne. Herved opstod elektrisk neutralt stof, som ikke vekselvirker nær så kraftigt med strålingen, d.v.s. universet blev gennemsigtigt, og stoffet kunne begynde at kondensere til galakser og stjerner med stigende temperatur, alt imedens baggrundsstrålingen kunne fortsætte sin udvidelse og afkøling. I dag, efter ca 15 milliarder år, er strålingsfeltets temperatur nede på ca 3 grader over det absolutte nulpunkt, medens stoffet i stjernerne er adskillige tusinde grader varmt. Denne uligevægt fører til en ensrettet strøm af varm stråling fra stjernerne og ud i universets mørke baggrund. En lille brøkdel af stjernelyset rammer på sin vej mørke kloder og får isen til at tø, fisk til at svømme og folk til at diskutere verdens gåder.

Den moderne kosmologi har også bragt ny forståelse af, at elementarpartiklerne og kraftlovene for deres vekselvirkning er opstået ved spontane symmetribrud i det meget tidlige univers. Det er de såkaldte "grand unification" teorier, som med nogen success kan forklare, at forskellen på de svage, de elektromagnetiske og de stærke vekselvirkninger ikke altid har eksisteret, men er udtryk for et spontant brud af en grundlæggende symmetri. Et af de sidste skud på stammen af kosmologiske teorier er "det inflationære univers", som forsøger at redegøre for, at selve universets masse er opstået ud af næsten ingenting ved et spontant symmetribrud i et "falsk vacuum".¹⁸ For tiden udfoldes mange teorier om "supersymmetrier" i det håb, at også tyngdekraften kan forklares ved et spontant symmetribrud.

De sidst omtalte teorier er stadig meget spekulative, og

det er svært at sige, hvilken status de vil have om 10 år. Men de viser klart, at tiden nu er modnet til en forståelse af Peirce's gamle tanke, at naturlovene skal forstås som "vaner", der opstår spontant og konsolideres på baggrund af en irreversibel udvikling. Den gamle symmetri var det blinde kaos, men den blev brudt og et mønster af regelmæssighed opbygger i tidens løb en ny slags symmetri. Peirce's vision fra slutningen af "The Architecture of Theories"² kan i dag ses som et profetisk glimt af en kosmologi som først nu er ved at blive aktuel:

"- i begyndelsen - uendelig fjernt, - var der et kaos af upersonaliseret følelse, som da den var uden forbindelse og regelmæssighed egentlig var uden eksistens. Denne følelse, som skejede ud her og der i ren vilkårlighed ville have startet sporen til en generaliserende tendens. Dens andre udskejelser ville være flygtige, men denne ville have den dyd at vokse. Således ville tendensen til vane blive startet; og fra denne med de andre udviklingsprincipper ville alle universets regelmæssigheder blive udviklet. Til hver en tid vil imidlertid et element af ren chance overleve og forblive indtil verden bliver et fuldstændig perfekt, rationelt og symmetrisk system, hvor sindet er krystalliseret i den uendelig fjerne fremtid."

7. Har vi brug for en metafysik?

Naturvidenskaberne har i det tyvende århundrede været stærkt præget af den positivistiske filosofi, der afviser metafysiske spekulationer som overflødige eller direkte skadelige for videnskabens udvikling. Det er da også ret nemt at finde eksempler på metafysiske doktriner, som har ført til stivt sind, intolerance og uhyggelig fanatisme i skumle kræfters tjeneste. Et aktuelt eksempel er de nykonservative og gammelreligiøse kræfters pression i USA for at tvinge Mosebogens skabelsesmyte ind i de biologiske lærebøger som en videnskabelig teori på bekostning af Darwin's evolutionsteori¹⁹. I Sovjet har man haft Lysenko og andre forsøg på at indfange naturvidenskaberne i en "dialektisk materialistisk" spændetrøje. Endelig må man huske på, at positivismens fremtrængen i høj grad var videnskabens værn mod nazistisk omklamring i trediveerne.

Hvis man tror, at al metafysik er skadelig for videnskaben, bliver man imidlertid let offer for en ubevidst metafysik, som fordi den er ubevidst er endnu sværere at frigøre sig fra. Nødvendighedens doktrin er et eksempel på en metafysisk grundsætning, som i det store og hele har været ubevidst, idet den fremtræder som essensen af al videnskabelighed. Respekten for fysikkens eksakthed fører meget let over i denne i bund og grund metafysiske tro på, at alt i virkeligheden er eksakt determineret, og at tilfældigheden er en illusion. Resultatet har været store problemer, dels i forholdet mellem fysikken og de andre naturvidenskaber og dels i forholdet mellem mekanik og termodynamik. Den mekaniske reduktionisme er den dag i dag en aktiv form for fagimperialisme, som hæmmer videnskabeliggørelsen af andre discipliner.

Hvis man skal udtrække en enkelt filosofisk læresætning af de sidste hundrede års grundlagsproblemer, må det være, at enhver videnskabelig disciplin er indstøbt i en større matrix af metavidenskab. Metafysikken kan ikke bare afskaffes ved lov, men må bevidstgøres i harmoni med videnskabens udvikling. Det bedste vi herved kan opnå er en flydende grænse, så nutidens metafysik kan indgå i fremtidens fysik. Det er en proces, vi aldrig bliver færdige med, men vi kan tage bestik af retningen, af konvergensen mod det sande ved at værne om den videnskabelige praksis, der muliggør en uendelig udvikling i kontinuitet.

Disse tanker blev formuleret af Peirce i "Den Metafysiske Klub", som han i 1870 oprettede sammen med vennen William James. Han var klar over, at en metafysik eller ontologi ikke kan bevises logisk, men må vælges på grundlag af en erkendelsesteori og en normativ opfattelse af den videnskabelige praksis og dens mål. Nødvendighedens doktrin måtte bekæmpes, fordi den umuliggør fremkomsten af det nye. At opfatte tilfældigheden som reel er et udtryk for erkendelsen af videnskabens uafsluttede karakter, og det umuliggør ikke, at fysisk tilfældighed kan vise sig som metafysisk nødvendighed.

Noter og litteratur.

1. "Charles Sanders Peirce, Utvalg og innledning av Ingemund Gullvåg", Pax Forlag, Oslo (1972).

2. P.Voetmann Christiansen, "Verden ifølge Peirce", Tekst nr.72, IMFUFA, RUC (1983).

Denne artikel indeholder bl.a. en dansk oversættelse af den første af Monist artiklerne "The Architecture of Theories", The Monist, I, 161 (1891). En mere kortfattet fremstilling af tankegangen kan findes i forfatterens artikel "Den frie tanke", Naturkampen, nr. 36, juni 1985.

3. C.S.Peirce, "The Doctrine of Necessity Examined", The Monist, II, 321 (1892). Se oversættelsen i denne tekst, s. 27.

De fem Monist artikler, samt Peirce's upublicerede svar til dr. Carus, kan findes "Collected Papers, C.S.Peirce", vol. VI. Ed. C.Hartshorne and P.Weiss, The Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge Mass. 1969.

4. Dialogen mellem Bohr og Einstein om, hvorvidt Gud spiller med terninger, citeres vidt og bredt, men det er svært at afgøre om den er autentisk. Historien er omtalt i J.Brónowski, "The Ascent of Man", BBC, London 1973. (En tak til Tor Nørretranders for denne oplysning).

5. En af de mest kendte skjult variabel teorier er udviklet af D.Bohm og J.Bub:

D.Bohm and J.Bub, Rev. Mod. Phys. 38, 453 (1966).

Ikke-lokaliteten i Bohm-Bub teorien påvises i følgende artikel: J.P.Christensen and R.D.Mattuck, Found. Phys. 12, 347 (1982).

6. A.Shimony, "Controllable and Uncontrollable Non Locality", Proc. Int. Symp. Foundations of Quantum Mechanics, Tokyo (1983).

7. P.Voetmann Christiansen, "The Semiotics of Quantum Non-Locality", Tekst nr. 93, IMFUFA, RUC (1985).

8. Mere alment tilgængelige introduktioner til Einstein Podolski Rosen paradokset, Bell's ulighed og Aspect's eksperimenter:

a. N.D.Mermin, "Bringing Home the Atomic World: Quantum Mysteries for Anybody", Am. J. Phys. 49, 940 (1981).

En større og mere fantasifuldt illustreret version af den samme artikel kan findes i Physics Today, april 85. Aspect eksperimentet blev bekendt for den danske offentlighed gennem artikler af Tor Nørretranders i dagbladet Information d.15. og d.22. oktober 1982. Andre artikler på dansk:

b. H.Thodberg, "Albert og den gode smag", GAMMA 51, (1982).

c. P.Voetmann Christiansen, "Retur til virkeligheden", GAMMA 52, (1983).

9. Niels Bohr, "Diskussion med Einstein om

erkendelsesteoretiske Problemer i Atomfysikken" (1949), optrykt i "Atomfysik og menneskelig erkendelse", J.H.Schultz, København (1957). (Det benyttede citat er fra et foredrag, Bohr holdt i Warszawa i 1938).

10. R.H.G.Helleman, "Self-generated chaotic behavior in nonlinear mechanics". En gennemgang af kaosteorier, specielt for klassisk mekaniske systemer, som danner grundlaget for Hellemans kritiske bemærkninger på Bohr Instituttet. Artiklen findes i bogen "Fundamental Problems in Statistical Mechanics, V", Proceedings of the Fifth International Summer School on Fundamental Problems in Statistical Mechanics, Enschede, 1980.

11. R.May, "Simple Mathematical Models with very Complicated Dynamics", Nature 261, 459 (1976). (se også ref. 15).

12. M.J.Feigenbaum, "The Universal Metric Properties of Nonlinear Transformations", J. Stat. Phys. 21, 669 (1979).

13. B.Mandelbrot, "Fractals: Form, Chance, and Dimension", W.H. Freeman, San Fransisco (1977).

14. Desværre er de fleste referencer til fluktuations - dissipationsteoremet yderst tekniske og uden omtale af de kvalitative aspekter. Følgende to lærebøger giver imidlertid en grundig diskussion:

a. L.Brillouin, "Science and Information Theory", Academic Press (1962).

b. D.K.C.McDonald, "Noise and Fluctuations", Wiley (1962).

15. I.Prigogine and I.Stengers, "Order out of Chaos", Bantam Books, New York (1984). En dansk oversættelse af Witt-Hansen og Lauritsen med titlen "Den nye pagt mellem mennesket og universet" udkommer dec. 85 på forlaget Ask.

16. Forfatteren takker Johs.Witt-Hansen og Laurits Lauritsen for oplysningen om Peirce citatet i ref. 15.

17. Steven Weinberg, "De første tre minutter, om universets oprindelse", Gyldendal (1979).

18. Tor Nørretranders, "Kosmos eller kaos", Tiderne Skifter (1984). Denne bog giver en kortfattet, letlæselig omtale af nyere kosmologiske teorier, som ikke er nævnt i ref. 18.

19. Jørgen Lerche Nielsen, "Darwin, Jesus og Reagan", Naturkampen, nr. 35 (1985).

APPENDIX

C.S. Peirce

UNDERSØGELSE AF NØDVENDIGHEDENS DOKTRIN.

("The Doctrine of Necessity Examined", The Monist, vol II, no.3, april 1892. Oversættelse: PVC).

I *The Monist* fra januar 1891¹ forsøgte jeg at fremvise, hvilke elementære ideer, der burde indgå i vores syn på universet. Lad mig oplyse, at jeg allerede havde grundlagt en kosmologisk teori på disse betragtninger og fra denne havde deduceret et betragteligt antal konsekvenser, som kunne sammenlignes med erfaringer. Denne sammenligning skrider nu frem, men under de gældende omstændigheder kommer den til at vare mange år.

Jeg agter her at undersøge den almindelige tro, at hvert eneste faktum i universet er præcist determineret af love. Man skal ikke antage, at dette er en doktrin, som er accepteret overalt og til alle tider af alle rationale mennesker. Dens første talsmand har nok været atomisten Demokrit, som blev ledt til den, fortælles det, ved refleksion over "materiens uigennemtrængelighed, dens flytning og sammenstød" (*antitypia kai phora kai plege tes yles*)². Det vil sige, efter at have begrænset sin opmærksomhed til et felt, hvor ingen anden indflydelse end mekaniske bånd overhovedet kunne vise sig for ham, sprang han straks til den konklusion, at overalt i universet var dette det eneste virkningsprincip, - en tænke måde, som i dag er så almindelig blandt ikke ureflekterende mennesker, at den må være mere end undskyldelig i tankens barndom. Men Epikur, som reviderede atomdoktrinen og reparerede dens mangler, fandt sig selv tvunget til at antage, at atomer slingrer fra deres baner ved spontan tilfældighed: og derved skænkede han teorien liv og enteleki. For nu ser vi klart, at den molekylære hypoteses særlige funktion i fysikken er at give adgang for sandsynlighedsregningen. Allerede filosofernes fyrste³ havde gentagne gange kraftigt fordømt Demokrits udsagn (især i "Fysik", bog II, kapitlerne iv, v, vi), idet han holdt på, at begivenheder kan foregå på tre måder, nemlig, 1) ved ydre tvang eller indflydelse af tilstrækkelige årsager, 2) i kraft af en indre natur eller indflydelse af finale årsager, og 3) uregelmæssigt, uden bestemte årsager, men blot ved absolut tilfældighed; og denne doktrin hører til Aristotelianismens inderste væsen. Den giver os i alle tilfælde en værdifuld opregning af de mulige måder på hvilke hvadsomhelst kan tænkes at have foregået. Både Aristoteles og Epikur ville også indrømme viljen dens frihed. Men stoikerne, som på alle områder gik efter det mest håndgribelige, hårde og livløse element og blindt benægtede eksistensen af ethvert andet, hvilket for eksempel bestred gyldigheden af den induktive metode og ønskede at

erstatte den med *reductio ad absurdum*⁴, blev meget naturligt den ene skole i antikkens filosofi, som stod fast på en streng necessitarianisme⁵ og således vendte tilbage til det eneste af Demokrits principper, som Epikur ikke havde kunnet sluge. Hos stoikerne gik necessitarianismen og materialismen hånd i hånd, således som affiniteten byder dem. Ved lærdommens genoplivelse blev stoicismen mødt med betydelig sympati, dels fordi den afveg lige nok fra Aristoteles til at give den nyhedens krydderi, og dels fordi dens overfladiskheder gjorde den let at acceptere for litteratur- og kunststuderende, som ønskede deres filosofi trukket mildt op. Senere inspirerede mekanikkens store opdagelser til det håb, at mekaniske principper var tilstrækkelige til at forklare universet; og, skønt uden logisk begrundelse, er dette håb siden blevet kontinuert stimuleret af senere fremskridt i fysikken. Ikke desto mindre var doktrinen i begyndelsen i for åbenlys modstrid med viljens frihed og med mirakler til at være alment accepterbar. Men i mellemtiden opstod den mest udbredte af alle filosofiske fejltagelser, den tanke, at associationalismen⁶ har et indre tilhørsforhold til familien af materialistiske doktriner; og således udvikledes motivationsteorien; og libertarianismen⁷ blev svækket. På nuværende tidspunkt har historiekritikken næsten afskaffet miraklerne, store eller små, så nødvendighedens doktrin har aldrig været så meget på mode som nu.

Den læresætning, som vi skal undersøge, siger, at tingenes tilstand til hver en tid, sammen med visse uforanderlige love, fuldstændigt bestemmer tilstanden til enhver anden tid (for en begrænsning til *fremtiden* kan ikke forsvares). Altså, givet universets tilstand i urtågen, og givet mekanikkens love, vil en tilstrækkelig kraftig hjerne fra disse data kunne deducere den præcise form på enhver snirkel på hvert bogstav, jeg skriver nu.

Den som fastholder, at enhver viljesakt, såvel som enhver ide i sindet er underlagt den stive styring af en nødvendighed koordineret med den fysiske verden, vil logisk blive ført til den slutning, at sindet er en del af den fysiske verden, således at mekanikkens love bestemmer alt, hvad der sker, i overensstemmelse med uforanderlige tiltrækninger og frastødninger. I så tilfælde består den øjeblikkelige tingenes tilstand, fra hvilken alle andre tilstande kan beregnes, af positioner og hastigheder af alle partiklerne til hver en tid. Denne, den sædvanlige og mest logiske form for necessitarianisme, kaldes den mekaniske filosofi.

Når jeg har spurgt tænkende mennesker, hvilken grund de havde til at tro, at ethvert faktum i universet er præcist determineret af love, har det første svar som regel været, at denne læresætning er en "forudsætning" eller et postulat for videnskabelig tankegang. Nå, hvis dette er det bedste, der kan siges for den, er troen dødsdømt. Lad os sætte, at den "postuleres": dette gør den ikke sand eller giver så meget som antydningen af et rationelt motiv for at tilskrive den nogen troværdighed. Det svarer til, at en mand, som kommer for at låne penge og bliver spurgt om han kan stille sikkerhed, svarer, at

han "postulerer" lånet. At "postulere" en sætning er ikke andet end at håbe, den er sand. Der gives ganske vist praktiske nødsfald, hvor vi handler under antagelse af, at visse sætninger er sande, fordi, hvis de ikke er, kan det ikke gøre nogen forskel, hvordan vi handler. Men jeg regner med, at alle sådanne sætninger er hypoteser om individuelle fakta. For det er manifest, at universelle principper kan der ikke kan gås på kompromis med i specielle tilfælde, og de er ikke nødvendige for dagligdags slutninger. At sige, for eksempel, at Arkimedes' bevis for vægtstangsreglen ville falde til jorden, hvis mennesker var udstyret med fri vilje, er ekstravagant, og dog er det dette, som impliceres af dem, som gør en sætning, der er uforenelig med viljens frihed til postulatet for al slutning. Når man også tager i betragtning, at videnskabens konklusioner ikke foregiver at være andet end sandsynlige, og at en sandsynlig slutning højst kan antage at noget er mest almindeligt, eller på anden måde tilnærmelsesvist sandt, men aldrig at nogetsomhelst er præcist sandt uden undtagelser overalt i universet, så ser vi, hvor langt denne sætning i sandhed er fra at blive således postuleret.

Men hele begrebet om, at et postulat er involveret i tænkningen tilhører en forældet og falsk opfattelse af logik. Af ikke-deduktive eller ampliative⁹ slutninger findes der tre slags: induktion, hypotese og analogi. Hvis der er andre måder, må de være ekstremt ualmindelige og højst komplicerede og må uden tvivl antages at være af samme natur som de netop opregnede. For induktion, hypotese og analogi, hvad angår deres ampliative karakter, d.v.s. i den grad de konkluderer noget, som ikke er indeholdt i præmisserne, afhænger af eet princip og involverer den samme procedure. Alle er i det væsentlige slutninger på grundlag af stikprøver. Lad os antage, at et skib ankommer til Liverpool med en stor ladning hvede. Antag, at et maskineri kan røre rundt i hele ladningen med stor grundighed. Antag, at syvogtyve fingerbølfulde udtages ligeligt fra forenden, midtskibs og agterdelen, fra styrbords- center- og bagbordsdele, og fra toppen, halvdybe og nedre dele af beholdningen, og at, når de er blandet og kornene talt, findes fire femtedele af disse at være af kvalitet A. Så kan vi slutte, erfaringsmæssigt og foreløbigt, at cirka fire femtedele af alle kornene i ladningen er af samme kvalitet. Jeg siger, at vi slutter dette erfaringsmæssigt og foreløbigt. Når jeg siger, at vi slutter det erfaringsmæssigt, mener jeg, at vores konklusion ikke foregiver at være viden om hvede-i-sig-selv, vores *aletheia*⁹ har, som afledningen af dette ord antyder, intet at gøre med *latent* hvede. Vi beskæftiger os kun med spørgsmålet om mulig erfaring, - erfaring i den fulde accept af dette begreb som noget der ikke blot påvirker sanserne, men også som emne for tankevirksomhed. Hvis der findes noget hvede på skibet, som man hverken kan finde i stikprøverne eller bagefter få fortalt noget om fra forhandlerne, - eller hvis den er halvt skjult, således at den faktisk kan dukke op, men er mindre tilbøjelig til at gøre det end resten, - eller hvis den kan påvirke vore sanser, men vi af en eller anden grund eller uden grund ikke kan ræsonnere over den, - al sådan hvede må udelukkes (eller kun

have sin proportionale vægt) i beregningen af den sande brøkdel af kvaliteten A , som vores logiske slutning søger at approximere. Når jeg siger, at vi drager slutningen foreløbigt, mener jeg, at vi ikke påstår at have nået nogen fastsat grad af approksimation endnu, men kun hævder, at hvis vor erfaring kan udstrækkes vilkårligt, og hvis alle kendsgerninger af enhver natur, så snart som de viser sig, bliver ordentligt anvendt efter den induktive metode til korrigerende af det estimerede forhold, så vil vores approksimation blive vilkårligt tæt på i det lange løb; det vil sige tæt på den kommende erfaring (ikke kun tæt ved udtømmning af en endelig mængde) således at hvis erfaringen i almindelighed fluktuerer uregelmæssigt frem og tilbage, så det søgte forhold berøves enhver fast værdi, så skal vi kunne finde, omtrent inden for hvilke grænser, det fluktuerer, og hvis det, efter at have haft een bestemt værdi ændrer sig og antager en anden, så skal vi kunne opdage det, og kort sagt, ligegyldigt hvordan det erfarede forhold varierer, så vil erfaringen udstrakt vilkårligt sætte os i stand til at opdage det, så vi kan forudsige rigtigt til sidst, hvad dets endelige værdi måtte være, hvis det har nogen endelig værdi, eller hvad den endelige lov for værdiernes rækkefølge måtte være, hvis der er en sådan endelig lov, eller at det ender med at fluktuere uregelmæssigt inden for visse grænser, hvis det ender med at fluktuere sådan. Nu indeholder vores slutning, som ikke hævder at være mere end erfaringsmæssig og foreløbig, helt klart intetsonhelst postulat.

For hvad er et postulat? Det er en formulering af et materielt faktum, som vi ikke er berettigede til at antage som en præmis, men hvis sandhed er nødvendig for gyldigheden af en slutning. Ethvert faktum, som kan antages at være postuleret, må så enten være således, at det til sidst vil vise sig for erfaringen, eller ikke. Hvis det vil vise sig, behøver vi ikke postulere det nu i vores foreløbige slutning, da vi til sidst vil være berettigede til at bruge det som en præmis. Men hvis det aldrig ville kunne vise sig for erfaringen, så er vores konklusion gyldig, medmindre det er muligt, at dette faktum forholder sig anderledes end antaget, d.v.s. den er gyldig så vidt den mulige erfaring går, hvilket er alt, hvad vi hævder. På denne måde bliver ethvert postulat skåret væk i kraft af enten foreløbigheden eller erfaringsmæssigheden af vores slutning. F. eks. er det blevet sagt, at induktionen postulerer, at hvis en uendelig følge af prøver udtrækkes, undersøges og sættes tilbage hver især, inden den næste udtrækkes, så vil i det lange løb hvert korn blive udtrukket lige så hyppigt som ethvert andet, d. v.s. postulerer at forholdet mellem det antal gange, to vilkårlige korn udtrækkes, vil nærme sig vilkårligt tæt til een. Der gøres imidlertid ikke noget sådant postulat; for hvis, på den ene side, vi ikke kan have nogen anden erfaring af hveden end fra sådanne udtrukne prøver, så er det det forhold, som viser sig i disse prøver og ikke det forhold, som hører til hveden i dens latente eksistens, som vi søger at bestemme; medens hvis, på den anden side, der er en anden måde, ved hvilken hveden kan komme til vort kendskab, svarende til en

anden form for stikprøver, således at der efter al vores omhyggelige omrøring af hveden vil være nogle erfarbare korn, som viser sig hyppigere i den første stikprøve end andre i det lange løb, så vil denne højst specielle kendsgerning med sikkerhed blive afsløret ved den induktive metode, som må benytte sig af alle slags erfaringer; og vores slutning, som kun var foreløbig, vil i sidste ende blive korrigeret. Det er også blevet sagt, at induktionen postulerer, at under lignende omstændigheder vil lignende begivenheder ske, og at dette postulat i grunden er det samme som princippet om universelle årsags-virknings forhold. Dette er imidlertid en fejl, eller *bevue*¹⁹, som skyldes at man udelukkende tænker på induktioner, hvor det konkluderede forhold er enten 1 eller 0. Hvis en eller anden sætning af den art skulle postuleres, måtte det være, at under lignende omstændigheder (omstændighederne ved udtrækning af de forskellige stikprøver) optræder forskellige begivenheder i de samme forhold i alle de forskellige mængder, - en påstand som er forkert til det absurde. Men i virkeligheden postuleres der slet ikke sådan noget; den erfaringsmæssige karakter af slutningen reducerer gyldighedsbetingelsen til dette, at hvis et bestemt resultat ikke forekommer, så vil det modsatte resultat manifestes, en betingelse som sikres af slutningens foreløbighed. Man kan imidlertid spørge, om det ikke kan tænkes, at ethvert tilfælde af en vis klasse, som nogensinde vil blive brugt som et datum for induktion, kunne have een karakter, medens ethvert tilfælde som aldrig nogensinde vil blive brugt kunne have den modsatte karakter. Svaret er, at i så fald ville de tilfælde, som ikke kunne underkastes et ræsonnement ikke blive erfaret i den fulde mening af ordet, men ville være blandt disse *latente* individer, som vores konklusion ikke foregiver at udtale sig om.

Til denne redegørelse for induktionens rationale kender jeg kun een indvending, som er værd at nævne: det er, at jeg på denne måde fejlagtigt undlader at vise den fulde grad af kraft, som denne slutningsmåde faktisk besidder; at ifølge mit synspunkt ville undersøgelsen af en enkelt håndfuld korn, uanset hvor grundig og gennemført omrørings og blandingsprocessen havde været, aldrig kunne give mig nogen sikkerhed, nok til at risikere penge på, for at den næste håndfuld ikke ville bevirke en stor ændring i den konkluderede værdi af det undersøgte forhold, medens i virkeligheden denne sikkerhed ville være meget høj for, at dette forhold ikke var meget forkert. Hvis den sande brøkdel af kvalitet A korn var 0.80, og hvis en håndfuld indeholdt tusind korn, så ville ni ud af ti håndfulde indeholde mellem 780 og 820 korn af kvalitet A. Svaret til dette er, at beregningen er korrekt, når vi ved, at enhederne i denne håndfuld og den undersøgte kvalitet har den normale afhængighed af hinanden, hvis f.eks. omrøringen har været fuldstændig og hvis man har afgjort, hvilken egenskab stikprøvekontrollen tager sigte på forud for undersøgelsen af prøven. Men i den grad disse betingelser ikke vides at være opfyldt, vil de ovenfor angivne tal ikke længere være gyldige. Tilfældig prøveudtagning og forudbestemmelse af den egenskab, kontrollen gælder, bør man altid stræbe efter i induktive ræsonnementer, men når det ikke

kan opnås, så kan slutningen stadig, hvis den udføres redeligt, have en vis værdi. Hvis vi ikke kan være sikre på, hvordan prøverne er taget eller hvordan prøveegenskaben er udvalgt, vil induktionen stadig have den væsentlige gyldighed, som min redegørelse her viser, at den har.

Jeg tror ikke, at et menneske, som kombinerer vilje til at blive overbevist med evne til at påskønne et argument angående et vanskeligt emne, kan modsætte sig de grunde, som er blevet givet for at vise, at princippet om den universelle nødvendighed ikke kan forsvares som værende et postulat for ræsonnementer. Så rejser sig imidlertid straks det spørgsmål, om det ikke er bevist at være sandt, eller i det mindste gjort meget sandsynligt, ved observation af naturen.

Dette spørgsmål behøver imidlertid ikke længe opholde en person, som er vant til at reflektere over kraften af den videnskabelige tankegang. For essensen af det necessitarianistiske standpunkt er, at visse kontinuerte størrelser kan have eksakte værdier. Hvordan kan nu en observation bestemme værdien af en sådan størrelse med en sandsynlig fejl på absolut ingenting? For een bag scenen, som ved at de mest forfinede sammenligninger af masser, længder og vinkler, som i præcision langt overgår alle andre målinger, dog kommer efter nøjagtigheden af bankkontoer, og at de almindelige bestemmelser af fysiske konstanter, som fremkommer fra måned til måned i tidsskrifterne, ligger på linje med boligmontørens udmåling af tæpper og gardiner, forekommer ideen om, at matematisk eksakthed demonstreres i laboratoriet, simpelthen latterlig. Der er en anerkendt metode til estimering af de sandsynlige størrelser af fejl i fysikken, - de mindste kvadraters metode. Det indrømmes overalt, at denne metode gør fejlene mindre, end de virkelig er; og dog er selv ifølge den teori en uendeligt lille fejl uendeligt usandsynlig; så enhver påstand gående ud på, at en vis kontinuert størrelse har en vis eksakt værdi, er, hvis den overhovedet er velbegrunderet, begrundet på noget andet end observationer.

Jeg er imidlertid tvunget til at indrømme, at denne regel må kvalificeres lidt. Den kan nemlig kun anvendes på en kontinuert* størrelse. Nu er der visse arter af kontinuerte størrelser, som er diskontinuerte i een eller to grænser, og for sådanne grænser må reglen modificeres. Således kan længden af en linje ikke være mindre end nul. Antag så, at det spørgsmål rejser sig, hvor lang en linje en vis person havde tegnet fra et markeret punkt på et stykke papir. Hvis der overhovedet ikke kan ses nogen linje, er den observerede længde nul; og den eneste konklusion, som denne observation garanterer, er at linjens længde er mindre end den mindste længde, som er synlig med det anvendte optiske udstyr. Men indirekte observationer, - f.eks. at den person, som antages at have tegnet linjen, aldrig var nærmere end halvtreds fod fra papiret, - kan gøre det

* *Kontinuert* er ikke lige det rigtige ord, men jeg lader det passere for at undgå en lang og irrelevant diskussion.

sandsynligt, at der slet ikke blev lavet nogen linje, således at den konkluderende længde vil være strengt nul. På lignende måde ville erfaringen uden tvivl garantere konklusionen, at der er absolut *ingen* indigo i et givet hvedeaks og absolut *ingen* rosenolie i en given lavplante. Sådanne slutninger kan imidlertid kun gøres gyldige ved positiv erfaringsmæssig evidens, direkte eller på afstand, og kan ikke bygge alene på manglende evne til at detektere den pågældende størrelse. Vi har grund til at tro, at der ikke er noget indigo i hveden, fordi vi har bemærket, at hvorsomhelst der produceres indigo, bliver det produceret i betydelige mængder, for blot at nævne eet argument. Vi har grund til at tro, at der ikke er rosenolie i lavplanten, fordi essens-olier i almindelighed synes at være specielle for den enkelte art. Hvis spørgsmålet havde været, om der var jern i hveden eller lavplanten, ville vi, på trods af, at en kemisk analyse ikke kunne påvise det, mene, at der sandsynligvis var noget af det, fordi der er jern næsten overalt. Uden at have den slags oplysninger på en eller anden måde måtte vi afholde os fra at have nogen mening om tilstedeværelsen af det pågældende stof. Jeg regner ikke med, at vi kan påstå at være i nogen *bedre* position end dette, hvad angår tilstedeværelsen af tilfældighed eller spontane afvigelser fra naturlove.

De observationer, som i almindelighed anføres til fordel for mekaniske årsager, beviser simpelthen, at der er et element af regelmæssighed i naturen, og har ikke noget som helst at gøre med spørgsmålet om, hvorvidt en sådan regelmæssighed er eksakt og universel, eller ej. Nej, hvad angår denne *eksakthed*, så er alle observationer direkte *imod* den, og man kan højst sige, at en god del af denne iagttagelse kan bortforklares. Prøv at verificere en hvilkensomhelst naturlov, og du vil finde, at jo mere præcise dine observationer er, jo mere sikkert er det, at de vil vise uregelmæssige afvigelser fra loven. Vi er vant til at tilskrive disse, og jeg siger ikke fejlagtigt, til målefejl; og dog kan vi i almindelighed ikke gøre rede for sådanne fejl på nogen foregribende sandsynlig måde. Prøv at spore deres årsager langt nok tilbage, og du vil blive tvunget til at indrømme, at de altid skyldes vilkårlige indflydelser eller tilfældighed.

Man kan imidlertid spørge, om der ikke, hvis der var et element af reel tilfældighed i universet, engang imellem heraf ville frembringes signalvirkninger, som ikke kunne passere ubemærkede. Til svar på dette spørgsmål, uden at stoppe for at påvise, at der er en overflod af store begivenheder, som man kunne fristes til at antage var af denne natur, vil det være det simplest at bemærke, at fysikere mener, at partiklerne i gasser bevæger sig uregelmæssigt rundt, fuldkommen som ved reel tilfældighed, og at sandsynlighedsprincipper medfører, at der af og til må optræde varmekoncentrationer i gasserne, som strider mod termodynamikkens anden lov, og disse koncentrationer må, når de optræder i eksplosive blandinger, sommetider have voldsomme virkninger. Her er da virkelig netop den antagne situation; og dog er der aldrig forekommet fænomener, som vi er tvunget til at tilskrive til sådanne tilfældige varmekoncentrationer, og som

nogen, vis eller tåbelig, nogensinde har drømt om at redegøre for på den måde.

Alt dette taget i betragtning, tror jeg ikke at nogen, som ikke er i en tilstand af forhærdet uvidenhed om videnskabens logik, kan fastholde, at kendsgerningernes præcise og universelle holden sig til loven er klart bevist, eller blot gjort særlig sandsynlig af nogen hidtil udførte observationer. Således vil den overbeviste fortaler for eksakt regelmæssighed snart finde sig drevet til *a priori*¹¹ grunde for at understøtte sin tese. Disse fik sådan en nedtromling¹² af Stuart Mill i hans undersøgelse af Hamilton, at fastholdelse af dem nu forekommer mig at betegne en høj grad af uimodtagelighed for fornuft; så jeg vil forbigå dem uden større opmærksomhed.

At sige, at vi ikke kan lade være med at tro på en given sætning, er ikke noget argument, men det er en uimodsigelig kendsgerning, hvis det er sandt, og med substitution af "jeg" for "vi" er det sandt i munden på flere slags sind, de blindt lidenskabelige, de ureflekterende og uvidende, og den person, som har overvældende vidnesbyrd for sine øjne. Men det, som har været utænkeligt i dag, har ofte vist sig indiskutabelt i morgen. Manglende evne til at fatte noget er kun et stadium, som ethvert menneske må igennem i forbindelse med et antal trossætninger, - undtagen den, som er begavet med en ekstraordinær stædighed og sløvhed. Hans forståelse er slavebundet til en eller anden blind tvang, som et stærkt sind sikkert snart ville gøre sig fri af.

Nogle forsøger at bakke *a priori* positionen op med empiriske argumenter. De siger, at verdens eksakte regelmæssighed er en naturlig tro, og at naturlige trossætninger i almindelighed er blevet bekræftet af erfaringen. Det kan der være noget om. Naturlige trossætninger behøver imidlertid også, hvis de normalt har en kerne af sandhed, korrektion og udrensning af naturlige illusioner. Mekanikkens principper er uden tvivl naturlige trossætninger, men på trods af det, var de tidlige formuleringer af dem overmåde fejlagtige. Den generelle tilnærmelse til sandheden i naturlige trossætninger er faktisk et eksempel på den almindelige tilpasning af arvelige frembringelser til genkendelige nytteverdier eller formål. Nu er naturens tilpasninger, så skønne og ofte vidunderlige de sandelig er, aldrig helt perfekte, så argumentet er i direkte *modstrid* med den absolutte eksakthed af enhver naturlig tro, inclusive årsagsprincippet.

Et andet argument, eller en bekvem banalitet, er at absolut tilfældighed er *ufattelig* (inconceivable). Dette ord har otte gängse betydninger. The Century Dictionary opregner seks. De som taler sådan kan næppe overtales til at sige i hvilken betydning, de mener at tilfældighed er ufattelig. Hvis de skulle gøre det, kunne det let vises, enten at de ikke har nogen tilstrækkelig grund til udtalelsen, eller at ufatteligheden er af en art, som ikke beviser, at tilfældighed ikke eksisterer.

Et andet *a priori* argument er, at tilfældighed er uforståelig (unintelligible), at selvom den måske kan fattes, afslører den ikke for fornuftens øje tingenes mål og med; og da en hypotese kun kan retfærdiggøres så vidt som den gør et fænomen forståeligt, kan vi aldrig have nogen ret til at antage, at absolut tilfældighed indgår i frembringelse af noget som helst i naturen. Dette argument kan man se på i forbindelse med to andre. Nemlig, i stedet for at gå så vidt som til at sige, at antagelsen af tilfældighed *aldrig* med rimelighed kan bruges til at forklare nogen iagttagen kendsgerning, kan man nøjes med at påstå, at man ikke kender nogen fakta, som en sådan antagelse på nogen måde kunne hjælpe til at forklare. Eller igen, som en yderligere svækkelse af påstanden, det kan siges, at da afvigelser fra en lov ikke iagttages ufejlbarligt, er tilfældigheden ikke en *vera causa*¹³ og burde ikke unødvendigt indføres i en hypotese.

Disse argumenter er ikke dårlige, og de tvinger os til en nærmere undersøgelse af sagen. Kom an, min fremragende modstander, lad mig lære af din visdom. Det forekommer mig, at hver gang jeg slår seksere med et par terninger, er det et håndgribeligt eksempel på tilfældighed.

"Vil du så mene, at et kast på to enere er frembragt af nødvendighed?" (Modstanderens formodede bemærkninger er sat i citationstegn).

Selvfølgelig er eet kast lige så tilfældigt som et andet.

"Tror du, at terningkast er af en anden natur end andre begivenheder?"

Jeg indser, at jeg må sige, at *al* slags mangfoldighed og egenartethed af begivenheder må tilskrives tilfældighed.

"Vil du så benægte, at der overhovedet er regelmæssighed i verden?"

Det kan jeg helt klart ikke benægte. Jeg må anerkende, at der er en approksimativ regelmæssighed, og at enhver begivenhed er påvirket af den. Men mangfoldigheden, egenartetheden og uregelmæssigheden af tingene antager jeg er tilfældig. Et kast seksere forekommer mig at være et tilfælde, hvor dette element er særlig påtrængende.

"Hvis du tænker dybere over det, vil du indse, at tilfældighed kun er et navn for en årsag, som er ukendt for os."

Mener du, at vi ikke har nogen ide om, hvilken slags årsager, der kunne frembringe et kast med seksere?

"Nej tværtimod, hver terning bevæger sig under indflydelse af præcise mekaniske love."

Men det forekommer mig, at det ikke er disse love, som får

terningen til at vende sekseren op; for disse love er de samme, når andre kast kommer op. Tilfældigheden ligger i forskelligheden af kastene; og forskelligheden kan ikke skyldes love, som er uforanderlige.

"Forskelligheden skyldes de forskellige omstændigheder under hvilke lovene virker. Terningerne ligger forskelligt i kassen, og bevægelserne, som kassen tildeles, er forskellige. Disse er de ukendte årsager, som frembringer kastene, og som vi tildeler navnet tilfældighed; ikke de mekaniske love, som regulerer disse årsagers virkemåde. Kan du se, du er allerede begyndt at tænke klarere om dette emne."

Forøger virkningen af de mekaniske love forskelligartetheden?

"Egentlig ikke. Du ved vel, at den øjeblikkelige tilstand af et system af partikler er defineret ved seks gange så mange tal, som der er partikler, tre for koordinaterne af hver partikels position og tre til for hastighedskomponenterne. Dette antal tal, som udtrykker graden af forskelligartethed i systemet, er det samme hele tiden. Der kan ganske vist være en slags relation mellem koordinaterne og hastighedskomponenterne for de forskellige partikler, ved hjælp af hvilken systemets tilstand kan udtrykkes ved et mindre antal tal. Men hvis det er tilfældet, må der eksistere en præcist tilsvarende relation mellem koordinaterne og hastighedskomponenterne til enhver anden tid, skønt det uden tvivl må være en relation, som er mindre åbenbar for os. Således er systemets indre kompleksitet den samme til alle tider."

Udmærket, min villige modstander, nu har vi klaret et punkt. Du tror, at alle universets vilkårlige specifikationer blev indført i een dosis i begyndelsen, hvis der var en begyndelse, og at naturens varietet og kompleksitet altid har været lige så stor som nu. Men jeg, for min del, tror at diversifikation og specifikation har fundet sted kontinuert. Hvis du vil nedlade dig til at spørge mig, hvorfor jeg tror det, vil jeg give mine grunde som følger:

1) Udspørg en hvikensomhelst videnskab, som beskæftiger sig med tidens forløb. Betragt livet af et individuelt dyr, eller en plante, eller et sind. Kast et blik på historien for stater, institutioner, sproget, ideer. Undersøg successionen af former som vises af paleontologien, klodens historie præsenteret af geologien, og hvad astronomerne kan finde ud af om forandringer i stjernesystemerne. Overalt er hovedsagen vækst og stigende kompleksitet. Død og forfald er kun uheld eller sekundære fænomener. For nogle af de lavere organismer er det et spørgsmål, som biologerne strider om, om der overhovedet er noget, som burde kaldes død. I alle tilfælde dør racerne ikke ud, undtagen under ugunstige omstændigheder. Fra disse brede og allestedsnærværende fakta kan vi tillade os at slutte med kompromisløs logik, at der nok i naturen er en virksom faktor,

som får kompleksiteten og diversiteten til at vokse, og at der derfor er noget, som interfererer med den mekaniske nødvendighed.

2) Ved således at indrømme, at ren spontanitet eller liv er et karaktertræk ved universet, som virker altid og overalt, skønt inden for snævre grænser, som hele tiden skaber forsvindende små afvigelser fra loven og store afvigelser uendelig sjældent, vil jeg gøre rede for hele universets varietet og diversitet på den eneste måde, hvorpå man kan redegøre for det, som virkeligt *sui generis*¹⁴ er nyt. Det almindelige synspunkt må anerkende verdens udtømmelige og mangfoldige varietet og må indrømme, at dets mekaniske lov ikke i mindste måde kan redegøre for dette, at varietet kun kan udspringe af spontaneitet, og benægter dog uden grund og evidens, at spontaneiteten eksisterer eller skubber den tilbage til tidens begyndelse og antager, at den har været død lige siden. Mit synspunkts bedre logik synes mig svær at bestride.

3) Når jeg spørger necessitarianeren, hvordan han ville forklare universets forskelligartethed og uregelmæssighed, svarer han mig fra sin visdoms skatkammer, at uregelmæssighed er noget, som vi ifølge tingenes natur ikke skal søge at forklare. Beskæmmet over dette søger jeg at dække min forvirring ved at spørge, hvordan han så ville forklare universets ensartethed og regelmæssighed, hvorpå han fortæller mig, at naturlovene er uforanderlige og ultimative kendsgerninger, og man skal ikke forklare dem. Men min spontaneitets-hypotese forklarer faktisk uregelmæssigheden, i en vis forstand; d.v.s. den forklarer det generelle faktum, at der eksisterer uregelmæssighed, men selvfølgelig ikke, hvordan hver enkelt lovløs begivenhed vil falde ud. På samme tid, ved således at løsne nødvendighedens bånd, giver den plads til indflydelsen af en anden slags årsager, nemlig sådanne, som synes at være virksomme i sindet ved dannelsen af associationer, og den sætter os i stand til at forstå, hvordan naturens ensartethed kunne have opstået. At enkeltbegivenheder skulle være svære og uforståelige kan logikken uden vanskelighed gå med til: vi forventer ikke, at chokoplevelsen af et jordskælv, vi personligt udsættes for, skal fremstå som naturlig og rimelig i kraft af nogensomhelst form for tankevirksomhed. Logikken forventer imidlertid, at generelle ting skal kunne forstås. Hvis man siger, at der findes en universel lov, og at det er et hårdt, ultimativt og uforståeligt faktum, som man aldrig kan søge en forklaring på, så vil en sund logik gøre oprør; og den vil straks gå over til en måde at filosofere på, som ikke således barrikaderer opdagelsens vej.

4) Necessitarianismen kan logisk set ikke undgå at gøre hele sindets virke til en del af det fysiske univers. Vores ide om, at vi selv bestemmer, hvad vi vil gøre, er, hvis det, som necessitarianeren siger, har kunnet beregnes fra tidernes morgen, reduceret til en illusion. I virkeligheden gøres hele bevidstheden på denne måde blot til et illusorisk aspekt af et materielt system. Hvad vi kalder rødt, grønt og violet er i virkeligheden kun forskellige svingningshastigheder. Den eneste

virkelighed er fordelingen af materiens kvaliteter i rum og tid. Hjernestof er protoplasma i en vis grad og art af kompleksitet, - et vist arrangement af materielle partikler. Dets følelse er kun et indre aspekt, et fantom. For fra positionerne og hastighederne af partiklerne til et vilkårligt tidspunkt og kendskab til de uforanderlige kræfter kan positionerne til enhver anden tid beregnes; så følelse er, som jeg sagde, kun et fragmentarisk og illusorisk aspekt af universet. Dette er altså necessitarianismens måde at gøre status på. Den indfører bevidstheden under overskriften diverse, som en overset bagatel; dens universelle skema ville være tilfredsstillende, hvis denne lille kendsgerning kunne gemmes helt væk. På den anden side, når man antager, at årsagslovens stive eksakthed må vige, ligegyldigt hvor lidt - måske kun med et helt forsvindende beløb, - får vi plads til at indsatte sindet i vores skema og indsatte det på den plads, hvor det behøves, på den plads, som det, som den eneste selvforståelige ting, er berettiget til at indtage, som eksistensens udspring; og ved at gøre det løser vi problemet om forbindelsen mellem sjæl og krop.

5) Jeg må imidlertid lade min hovedgrund være uudviklet og kan kun skitsere den. Hypotesen om tilfældigheds-spontaneitet har uundgåelige konsekvenser, som kan efterspores med matematisk præcision i mange detaljer. Meget af dette har jeg gjort, og jeg finder, at konsekvenserne stemmer med observerede fakta i en grad, som synes mig bemærkelsesværdig. Men emnet og tænkemåderne er nye, og jeg har ingen ret til at love, at andre matematikere vil finde mine deduktioner lige så tilfredsstillende, som jeg selv gør, så den stærkeste grund til min tro må for nuværende forblive min egen private grund og kan ikke påvirke andre. Jeg nævner det for at forklare min egen position og tildels for at antyde for fremtidige matematiske tænkere, at der er en veritabel guldmine, skulle tiden og omstændighederne og den, som lader os alle glæder miste, forhindre, at jeg åbner den for verden.

Hvis jeg nu, på min side, spørger necessitarianeren, hvorfor han foretrækker at antage, at alle specifikationer går tilbage til tingenes begyndelse, vil han svare mig med et af de sidste tre argumenter, som jeg lod være ubesvarede.

Først kan han sige, at tilfældigheden er en fuldkommen uforståelig ting, og derfor kan vi aldrig tillade os at antage dens eksistens. Men har denne bemærkning ikke en bismag af naiv uforklarmethed? Det er ikke min, men hans egen opfattelse af universet, som brat leder hen til hårde, ultimative, uforklarlige, uforanderlige love på den ene side, og til uforklarlig specifikation og diversifikation på den anden side. I modsætning hertil stiller mit synspunkt slet ingen hypoteser op, medmindre det er en hypotese at sige, at specifikationen opstod på en eller anden måde og ikke skal accepteres som noget uforklarligt. At påtage sig at forklare noget ved at sige ligeud, at det skyldes tilfældighed, ville sandelig være nytteløst. Men det gør jeg heller ikke. Jeg gør brug af tilfældigheden, først og fremmest for at skabe plads til et

princip for generalisation, eller tendens til at danne vaner, som jeg mener har fembragt alle regelmæssigheder. Den mekaniske filosof efterlader hele specifikationen af verden totalt uforklaret, hvilket er omtrent lige så slemt som rask væk at tilskrive den til tilfældigheden. Jeg tilskriver den ganske vist helt og aldeles til tilfældighed, men til tilfældighed i form af en spontaneitet, som til en vis grad er regelmæssig. Det synes mig under alle omstændigheder klart, at man må antage eet af disse to standpunkter, eller også må man antage, at specifikationen skyldes en spontaneitet, som udvikler sig på en bestemt måde, og ikke på en tilfældig måde, ved en objektiv logik som den af Hegel. Denne sidste måde lader jeg stå som en åben mulighed for nuværende; for den er lige så meget i modsætning til necessitarianerens skema for eksistensen, som min egen teori er.

For det andet kan necessitarianeren sige, at der i hvert tilfælde ikke er nogen observerede fænomener, som tilfældighedshypotesen kunne hjælpe til at forklare. Til svar udpeger jeg først fænomener som vækst og kompleksitet i udvikling, som synes at være universelle, og som, skønt der muligvis kan være en mekanisme involveret, visselig fremviser alle tegn på voksende diversifikation. Så er der varieteten selv, uden sammenligning universets mest påtrængende karakter: ingen mekanisme kan gøre rede for denne. Så er der selve det faktum, som necessitarianeren mest insisterer på, universets regelmæssighed, som for ham kun tjener til at blokere undersøgelsens vej. Så er der de regulære relationer mellem naturlovene, - ligheder og sammenlignelige karaktertræk, der apellerer til vor intelligens som en slægtning til den og kalder på os for en begrundelse. Endelig er der bevidsthed, følelse, et tilstrækkeligt klart faktum, men et meget ubekvemt et for den mekaniske filosof.

For det tredje kan necessitarianeren sige, at tilfældighed ikke er en *vera causa*, at vi ikke kan være positivt sikre på, at der er et sådant element i universet. Doktrinen om *vera causa* har imidlertid intet at gøre med elementære begreber. Hvis den således føres ud i det ekstreme, kan den på samme tid afskaffe troen på eksistensen af et materielt univers, og uden den kan necessitarianismen næppe holde stand. Desuden er varietet et faktum, som må anerkendes, og tilfældighedsteorien indeholder blot antagelsen om, at denne diversifikation ikke er sket før tidens begyndelse. Ydermere er undgåelsen af hypoteser, som involverer årsager, der ikke positivt vides at virke, kun en logisk anbefaling, ikke en positiv kommando. Den kan ikke formuleres i nogen præcise termer uden straks at afsløre sin uholdbare karakter, d.v.s. som en ubøjelig regel, for som en anbefaling er den sund nok.

Jeg mener således at have fremlagt til uhildet undersøgelse alle de vigtige grunde til at tilslutte sig teorien om den universelle nødvendighed og at have påvist deres intetsigende karakter. Jeg beder alvorligt om, at hvemsomhelst, som måtte

opdage nogen fejl i min tankegang, vil udpege den for mig, enten privat eller offentligt; for hvis jeg tager fejl, ligger det mig meget på sinde at blive rettet hurtigt. Hvis mit argument forbliver ugendrevet, mener jeg tiden er inde til at tvivle på den absolutte sandhed af princippet om universelle love; og når engang en sådan tvivl har slået levende rod i en persons sind, så er jeg sikker på, at min sag med ham vil blive fremmet.

C.S.Peirce.

Noter til oversættelsen.

1. Artiklen "The Architecture of Theories", som findes oversat i IMFUFA tekst nr. 72, "Verden ifølge Peirce".
2. Græske ord er her sat med latinske bogstaver.
3. Filosofernes fyrste, d.v.s. Aristoteles.
4. Reductio ad absurdum, indirekte bevis, hvor man antager det modsatte af den sætning, der skal bevises, og ad logisk vej beviser en logisk modsigelse.
5. Necessitarianisme, d.v.s. troen på nødvendighedens doktrin.
6. Associationalismen, d.v.s. læren om tankers sammenkædning ved associationer.
7. Libertarianismen, d.v.s. troen på viljens frihed. Den modsatte doktrin, at viljen holdes i bånd af materielle lovmæssigheder, kaldes kompatibilisme.
8. Ampliativ, d.v.s. som tilføjer noget ekstra, jfr. 5 linjer længere nede i teksten.
9. Aletheia, (græsk), d.v.s. sande forhold eller virkelig beskaffenhed. Ordet er sammensat af den "berøvende" forstavelse a- (alfa privativum) og verbet letho d.v.s. er skjult, og dette verbum indgår også i ordet latent = skjult i næste linje. Peirce's pointe er altså, at vores viden om de sande forhold intet har at gøre med det latente eller skjulte.
10. Bevue, (fransk), d.v.s. forglemmelse, fadæse.
11. A priori, d.v.s. forud for (erfaringen).
12. Peirce bruger det franske ord soc-dolager, sammensat af soc = plovskær og dolager = planere med høvl el. lign.
13. Vera causa, d.v.s. den egentlige eller primære årsag.
14. Sui generis, d.v.s. i sin art.

- 1/78 "TANKER OM EN PRAKSIS" - et matematikprojekt.
Projektrapport af Anne Jensen, Lena Lindenskov, Marianne Kesselhahn og Nicolai Lomholt.
Vejleder: Anders Madsen.
- 2/78 "OPTIMERING" - Menneskets forøgede beherskelsesmuligheder af natur og samfund.
Projektrapport af Tom J. Andersen, Tommy R. Andersen, Gert Kreinøe og Peter H. Lassen.
Vejleder: Bernhelm Booss.
- 3/78 "OPGAVESAMLING", breddekursus i fysik.
Lasse Rasmussen, Aage Bonde Kræmmer, Jens Højgaard Jensen. Nr. 3 er a jour ført i marts 1984
- 4/78 "TRE ESSAYS" - om matematikundervisning, matematiklæreruddannelsen og videnskabsrindalismen.
Mogens Niss. Nr. 4 er p.t. udgået.
- 5/78 "BIBLIOGRAFISK VEJLEDNING til studiet af DEN MODERNE FYSIKS HISTORIE".
Helge Kragh. Nr. 5 er p.t. udgået.
- 6/78 "NOGLE ARTIKLER OG DEBATINDLÆG OM - læreruddannelse og undervisning i fysik, og - de naturvidenskabelige fags situation efter studenteroprøret".
Karin Beyer, Jens Højgaard Jensen og Bent C. Jørgensen.
- 7/78 "MATEMATIKKENS FORHOLD TIL SAMFUNDSØKONOMIEN".
B.V. Gnedenko. Nr. 7 er udgået.
- 8/78 "DYNAMIK OG DIAGRAMMER". Introduktion til energy-bond-graph formalismen.
Peder Voetmann Christiansen.
- 9/78 "OM PRAKSIS' INDFLYDELSE PÅ MATEMATIKKENS UDVIKLING". - Motiver til Kepler's: "Nova Stereometria Dolliorum Vinarium".
Projektrapport af Lasse Rasmussen.
Vejleder: Anders Madsen.
-
- 10/79 "TERMODYNAMIK I GYMNASIET".
Projektrapport af Jan Christensen og Jeanne Mortensen.
Vejledere: Karin Beyer og Peder Voetmann Christiansen.
- 11/79 "STATISTISKE MATERIALER"
red. Jørgen Larsen
- 12/79 "LINEÆRE DIFFERENTIALLIGNINGER OG DIFFERENTIALLIGNINGSSYSTEMER".
Mogens Brun Heefelt Nr. 12 er udgået
- 13/79 "CAVENDISH'S FORSØG I GYMNASIET".
Projektrapport af Gert Kreinøe.
Vejleder: Albert Chr. Paulsen

- 14/79 "BOOKS ABOUT MATHEMATICS: History, Philosophy, Education, Models, System Theory, and Works of Reference etc. A Bibliography".
Else Høyrup.
Nr. 14 er p.t. udgået.
- 15/79 "STRUKTUREL STABILITET OG KATASTROFER i systemer i og udenfor termodynamisk ligevægt".
Specialeopgave af Leif S. Striegler.
Vejleder: Peder Voetmann Christiansen.
- 16/79 "STATISTIK I KRÆFTFORSKNINGEN".
Projektrapport af Michael Olsen og Jørn Jensen.
Vejleder: Jørgen Larsen.
- 17/79 "AT SPØRGE OG AT SVARE i fysikundervisningen".
Albert Christian Paulsen.
- 18/79 "MATHEMATICS AND THE REAL WORLD", Proceedings of an International Workshop, Roskilde University Centre, Denmark, 1978. Preprint.
Bernhelm Booss & Mogens Niss (eds.).
- 19/79 "GEOMETRI, SKOLE OG VIRKELIGHED".
Projektrapport af Tom J. Andersen, Tommy R. Andersen og Per H.H. Larsen.
Vejleder: Mogens Niss.
- 20/79 "STATISTISKE MODELLER TIL BESTEMMELSE AF SIKRE DOSER FOR CARCINOGENE STOFFER".
Projektrapport af Michael Olsen og Jørn Jensen.
Vejleder: Jørgen Larsen.
- 21/79 "KONTROL I GYMNASIET - FORMAL OG KONSEKVENSER".
Projektrapport af Crilles Bacher, Per S. Jensen, Preben Jensen og Torben Nysteen.
- 22/79 "SEMIOTIK OG SYSTEMEGENSKABER (1)".
1-port lineært response og støj i fysikken.
Peder Voetmann Christiansen.
- 23/79 "ON THE HISTORY OF EARLY WAVE MECHANICS - with special emphasis on the role of reality".
-
- 24/80 "MATEMATIKOPFATTELSE hos 2.G'ERE".
a+b 1. En analyse. 2. Interviewmateriale.
Projektrapport af Jan Christensen og Knud Lindhardt Rasmussen.
Vejleder: Mogens Niss.
Nr. 24 a+b er p.t. udgået.
- 25/80 "EKSAMENSOPGAVER", Dybdemodul/fysik 1974-79.
- 26/80 "OM MATEMATISKE MODELLER".
En projektrapport og to artikler.
Jens Højgaard Jensen m.fl.
- 27/80 "METHODOLOGY AND PHILOSOPHY OF SCIENCE IN PAUL DIRAC's PHYSICS".
Helge Kragh.
- 28/80 "DIELEKTRISK RELAXATION - et forslag til en ny model bygget på væskernes viscoelastiske egenskaber".
Projektrapport, speciale i fysik, af Gert Kreinøe.
Vejleder: Niels Boye Olsen.

29/80 "ODIN - undervisningsmateriale til et kursus i differentialligningsmodeller".
Projektrapport af Tommy R. Andersen, Per H.H. Larsen og Peter H. Lassen.
Vejleder: Mogens Brun Heefelt

30/80 "FUSIONSENERGIEN - - - ATOMSAMFUNDETS ENDESTATION".
Oluf Danielsen.

Nr. 30 er udgået.

Udkommer medio 1982 på Fysik-, Matematik- og Kemilærernes forlag.

31/80 "VIDENSKABSTEORETISKE PROBLEMER VED UNDERVISNINGSSYSTEMER BASERET PÅ MENGDELÆRE".
Projektrapport af Troels Lange og Jørgen Karrebæk.
Vejleder: Stig Andur Pedersen.

Nr. 31 er p.t. udgået

32/80 "POLYMERE STOFFERS VISCOELASTISKE EGENSKABER - BELYST VED HJÆLP AF MEKANISKE IMPEDANSMALINGER OG MOSSBAUER-EFFEKTALINGER".
Projektrapport, speciale i fysik, af Crilles Bacher og Preben Jensen.
Vejledere: Niels Boye Olsen og Peder Voetmann Christiansen.

33/80 "KONSTITUERING AF FAG INDEN FOR TEKNISK-NATURVIDENSKABELIGE UDDANNELSER. I-II".
Arne Jakobsen.

34/80 "ENVIRONMENTAL IMPACT OF WIND ENERGY UTILIZATION".
ENERGY SERIES NO.1.
Bent Sørensen.

Nr. 34 er udgået.

Publ. i "Renewable Sources of Energy and the Environment", Tycooli International Press, Dublin, 1981.

35/80 "HISTORISKE STUDIER I DEN NYERE ATOMFYSIKS UDVIKLING".
Helge Kragh.

36/80 "HVAD ER MENINGEN MED MATEMATIKUNDERVISNINGEN ?".
Fire artikler.
Mogens Niss.

37/80 "RENEWABLE ENERGY AND ENERGY STORAGE".
ENERGY SERIES NO.2.
Bent Sørensen.

38/81 "TIL EN HISTORIETEORI OM NATURERKENDELSE, TEKNOLOGI OG SAMFUND".
Projektrapport af Erik Gade, Hans Hedal, Henrik Lau og Finn Physant.
Vejledere: Stig Andur Pedersen, Helge Kragh og Ib Thiersen.

Nr. 38 er p.t. udgået

39/81 "TIL KRITIKKEN AF VÆKSTØKONOMIEN".
Jens Højgaard Jensen.

40/81 "TELEKOMMUNIKATION I DANMARK - oplæg til en teknologivurdering".
Projektrapport af Arne Jørgensen, Bruno Petersen og Jan Vedde.
Vejleder: Per Nørgaard.

Nr. 40 er p.t. udgået

41/81 "PLANNING AND POLICY CONSIDERATIONS RELATED TO THE INTRODUCTION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES INTO ENERGY SUPPLY SYSTEMS".
ENERGY SERIES NO.3.
Bent Sørensen.

- 42/81 "VIDENSKAB TEORI SAMFUND - En introduktion til materialistiske videnskabsopfattelser".
Helge Kragh og Stig Andur Pedersen.
- 43/81 1. "COMPARATIVE RISK ASSESSMENT OF TOTAL ENERGY SYSTEMS".
2. "ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF DECENTRALIZATION".
ENERGY SERIES NO.4.
Bent Sørensen.
- 44/81 "HISTORISK UNDERSØGELSE AF DE EKSPERIMENTELLE FORUDSÆTNINGER FOR RUTHERFORDS ATOMMODEL".
Projektrapport af Niels Thor Nielsen.
Vejleder: Bent C. Jørgensen.
-
- 45/82
- 46/82 "EKSEMPLARISK UNDERVISNING OG FYSISK ERKENDELSE - I+II ILLUSTRERET VED TO EKSEMPLER".
Projektrapport af Torben O. Olsen, Lasse Rasmussen og Niels Dreyer Sørensen.
Vejleder: Bent C. Jørgensen.
- 47/82 "BARSEBACK OG DET VÆRST OFFICIELT-TÆNKELIGE UHELD".
ENERGY SERIES NO.5.
Bent Sørensen.
- 48/82 "EN UNDERSØGELSE AF MATEMATIKUNDERVISNINGEN PÅ ADGANGSKURSUS TIL KØBENHAVNS TEKNIKUM".
Projektrapport af Lis Eilertzen, Jørgen Karrebæk, Troels Lange, Preben Nørregaard, Lissi Pedersen, Laust Rishøj, Lill Røn, Isac Showiki.
Vejleder: Mogens Niss.
- 49/82 "ANALYSE AF MULTISPEKTRALE SATELLITBILLEDER".
Projektrapport af Preben Nørregaard.
Vejledere: Jørgen Larsen & Rasmus Ole Rasmussen.
- 50/82 "HERSLEV - MULIGHEDER FOR VEDVARENDE ENERGI I EN LANDSBY". ENERGY SERIES NO.6.
Rapport af Bent Christensen, Bent Høye Jensen, Dennis B. Møller, Bjarne Laursen, Bjarne Lillethorup og Jacob Mørch Pedersen.
Vejleder: Bent Sørensen.
- 51/82 "HVAD KAN DER GØRES FOR AT AFHJÆLPE PIGERS BLOKERING OVERFOR MATEMATIK?"
Projektrapport af Lis Eilertzen, Lissi Pedersen, Lill Røn og Susanne Stender.
- 52/82 "DESUSPENSION OF SPLITTING ELLIPTIC SYMBOLS"
Bernhelm Booss & Krzysztof Wojciechowski.
- 53/82 "THE CONSTITUTION OF SUBJECTS IN ENGINEERING EDUCATION".
Arne Jakobsen & Stig Andur Pedersen.
- 54/82 "FUTURES RESEARCH" - A Philosophical Analysis of Its Subject-Matter and Methods.
Stig Andur Pedersen & Johannes Witt-Hansen.

- 55/82 "MATEMATISKE MODELLER" - Litteratur på Roskilde
Universitetsbibliotek.
En bibliografi.
Else Høyrup.
- Vedr. tekst nr. 55/82:
Se også tekst 62/83.
- 56/82 "ÉN - TO - MANGE" -
En undersøgelse af matematisk økologi.
Projektrapport af Troels Lange.
Vejleder: Anders Madsen.
-
- 57/83 "ASPECT EKSPERIMENTET" -
Skjulte variable i kvantemekanikken?
Projektrapport af Tom Juul Andersen.
Vejleder: Peder Voetmann Christiansen.
- Nr. 57 er udgået.
- 58/83 "MATEMATISKE VANDRINGER" - Modelbetragtninger
over spredning af dyr mellem småbiotoper i
agerlandet.
Projektrapport af Per Hammershøj Jensen &
Lene Vagn Rasmussen.
Vejleder: Jørgen Larsen.
- 59/83 "THE METHODOLOGY OF ENERGY PLANNING".
ENERGY SERIES NO. 7.
Bent Sørensen.
- 60/83 "MATEMATISK MODEKSPERTISE" - et eksempel.
Projektrapport af Erik O. Gade, Jørgen Karrebæk og
Preben Nørregaard.
Vejleder: Anders Madsen.
- 61/83 "FYSIKS IDEOLOGISKE FUNKTION", som et eksempel på
en naturvidenskab - historisk set.
Projektrapport af Annette Post Nielsen.
Vejledere: Jens Høyrup, Jens Højgaard Jensen og
Jørgen Vogelius.
- 62/83 "MATEMATISKE MODELLER" - Litteratur på Roskilde
Universitetsbibliotek.
En bibliografi. 2. rev. udgave
Else Høyrup
- 63/83 "CREATING ENERGY FUTURES: A SHORT GUIDE TO
ENERGY PLANNING".
ENERGY SERIES No. 8
David Crossley & Bent Sørensen
- 64/83 "VON MATHEMATIK UND KRIEG".
Bernhelm Booss og Jens Høyrup
- 65/83 "ANVENDT MATEMATIK - TEORI ELLER PRAKSIS".
Projektrapport af Per Hedegård Andersen, Kirsten
Habekost, Carsten Holst-Jensen, Annelise von Moos,
Else Marie Pedersen, Erling Møller Pedersen.
Vejledere: Bernhelm Booss & Klaus Grünbaum.
- 66/83 "MATEMATISKE MODELLER FOR PERIODISK SELEKTION I
ESCHERICHIA COLI".
Projektrapport af Hanne Lisbet Andersen, Ole
Richard Jensen og Klavs Frisdahl.
Vejledere: Jørgen Larsen og Anders Hede Madsen

- 67/83 "ELIPSOIDE METODEN - EN NY METODE TIL LINEÆR PROGRAMMERING?"
Projektrapport af Lone Biilmann og Lars Boye
Vejleder: Mogens Brun Heefelt
- 68/83 "STOKASTISKE MODELLER I POPULATIONSGENETIK"
- til kritikken af teoriladede modeller.
Projektrapport af Lise Ogdgård Gade, Susanne Hansen, Michael Hviid, Frank Mølgård Olsen.
Vejleder: Jørgen Larsen.
- 69/83 "ELEVFORUDSÆTNINGER I FYSIK"
- en test i l.g med kommentarer
Albert Chr. Paulsen
- 70/83 "INDLÆRINGS- OG FORMIDLINGSPROBLEMER I MATEMATIK PÅ VOKSENUNDERVISNINGSNIVEAU"
Projektrapport af Hanne Lisbet Andersen, Torben J. Andreasen, Svend Åge Houmann, Helle Glerup Jensen, Keld Fl. Nielsen, Lene Vagn Rasmussen.
Vejleder: Klaus Grünbaum & Anders H. Madsen
- 71/83 "PIGER OG FYSIK"
- et problem og en udfordring for skolen?
Karin Beyer, Sussanne Blegaa, Birthe Olsen, Jette Reich & Mette Vedelsby
- 72/83 "VERDEN IFØLGE PEIRCE" - to metafysiske essays, om og af C.S. Peirce.
Peder Voetmann Christiansen
- 73/83 "EN ENERGIANALYSE AF LANDBRUG"
- økologisk contra traditionelt
ENERGY SERIES No. 9
Specialeopgave i fysik af Bent Hove Jensen
Vejleder: Bent Sørensen
-
- 74/84 "MINIATURISERING AF MIKROELEKTRONIK" - om videnskabeliggjort teknologi og nytten af at lære fysik
Projektrapport af Bodil Harder og Linda Szkotak Jensen.
Vejledere: Jens Højgaard Jensen og Bent C. Jørgensen
- 75/84 "MATEMATIKUNDERVISNINGEN I FREMTIDENS GYMNASIUM"
- Case: Lineær programmering
Projektrapport af Morten Blomhøj, Klavs Frisdahl, Frank Mølgård Olsen
Vejledere: Mogens Brun Heefelt & Jens Bjørneboe
- 76/84 "KERNEKRAFT I DANMARK?" - Et høringssvar indkaldt af miljøministeriet, med kritik af miljøstyrelsens rapporter af 15. marts 1984.
ENERGY SERIES No. 10
Af Niels Boye Olsen og Bent Sørensen
- 77/84 "POLITISKE INDEKS - FUP ELLER FAKTA?"
Opinionsundersøgelser belyst ved statistiske modeller
Projektrapport af Svend Åge Houmann, Keld Nielsen, Susanne Stender
Vejledere: Jørgen Larsen & Jens Bjørneboe

- 78/84 "JÆVNSTRØMSLEDNINGSEVNE OG GITTERSTRUKTUR I AMORFT GERMANIUM"
Specialerapport af Hans Hedal, Frank C. Ludvigsen og Finn C. Physant
Vejleder: Niels Boye Olsen
- 79/84 "MATEMATIK OG ALMENDANNELSE"
Projektrapport af Henrik Coster, Mikael Wennerberg Johansen, Povl Kattler, Birgitte Lydholm og Morten Overgaard Nielsen.
Vejleder: Bernhelm Booss
- 80/84 "KURSUSMATERIALE TIL MATEMATIK B"
Mogens Brun Heefelt
- 81/84 "FREKVENSafhængig LEDNINGSEVNE I AMORFT GERMANIUM"
Specialerapport af Jørgen Wind Petersen og Jan Christensen
Vejleder: Niels Boye Olsen
- 82/84 "MATEMATIK- OG FYSIKUNDERVISNINGEN I DET AUTOMATISEREDE SAMFUND"
Rapport fra et seminar afholdt i Hvidovre 25-27 april 1983
Red.: Jens Højgaard Jensen, Bent C. Jørgensen og Mogens Niss
- 83/84 "ON THE QUANTIFICATION OF SECURITY" nr. 83 er p.t. udgået
PEACE RESEARCH SERIES NO. 1
af Bent Sørensen
- 84/84 " NOGLE ARTIKLER OM MATEMATIK, FYSIK OG ALMENDANNELSE".
Jens Højgaard Jensen, Mogens Niss m. fl.
- 85/84 "CENTRIFUGALREGULATORER OG MATEMATIK"
Specialerapport af Per Hedegård Andersen, Carsten Holst-Jensen, Else Marie Pedersen og Erling Møller Pedersen
Vejleder: Stig Andur Pedersen
- 86/84 "SECURITY IMPLICATIONS OF ALTERNATIVE DEFENSE OPTIONS FOR WESTERN EUROPE"
PEACE RESEARCH SERIES NO. 2
af Bent Sørensen
- 87/84 "A SIMPLE MODEL OF AC HOPPING CONDUCTIVITY IN DISORDERED SOLIDS"
af Jeppe C. Dyre
- 88/84 "RISE, FALL AND RESURRECTION OF INFINITESIMALS"
af Detlef Laugwitz
- 89/84 "FJERNVARMEOPTIMERING"
af Bjarne Lillethorup & Jacob Mørch Pedersen
- 90/84 "ENERGI I 1.G.-en teori for tilrettelæggelse"
af Albert Chr. Paulsen
-
- 91/85 "KVANTETEORI FOR GYMNASIET"
1. Lærervejledning
Projektrapport af: Birger Lundgren, Henning Sten Hansen og John Johansson
Vejleder: Torsten Meyer

- 92/85 "KVANTETEORI FOR GYMNASIET
2. Materiale

Projektrapport af: Birger Lundgren, Henning
Sten Hansen og John Johansson

Vejleder: Torsten Meyer
- 93/85 "THE SEMIOTICS OF QUANTUM-NON-LOCALITY"
af Peder Voetmann Christiansen
- 94/85 "TREENIGHEDEN BOURBAKI - generalen, matematikeren
og ånden"

Projektrapport af: Morten Blomhøj, Klavs Frisdahl
og Frank M. Olsen

Vejleder: Mogens Niss
- 95/85 "AN ALTERNATIVE DEFENSE PLAN FOR WESTERN EUROPE"

Peace research series no. 3
af Bent Sørensen
- 96/85 "ASPEKTER VED KRAFTVARMEFORSYNING"
af Bjarne Lillethorup
Vejleder: Bent Sørensen
- 97/85 "ON THE PHYSICS OF A.C. HOPPING CONDUCTIVITY"

Jeppe C. Dyre
- 98/85 "VALGMULIGHEDER I INFORMATIONSDEREN"
af Bent Sørensen
- 99/85 "Der er langt fra Q til R"

Projektrapport af: Niels Jørgensen og Mikael Klintorp
Vejleder: Andur Pedersen
- 100/85 "TALSYSTEMETS OPBYGNING"
af Mogens Niss
- 101/85 "EXTENDED MOMENTUM THEORY FOR WINDMILLS
IN PERTURBATIVE FORM"
af Ganesh Sengupta
- 102/85 "OPSTILLING OG ANALYSE AF MATEMATISKE MODELLER, BELYST VED
MODELLER OVER KØERS FODEROPTAGELSE OG - OMSÆTNING"

Projektrapport af: Lis Eilertzen, Kirsten Habekost, Lill Røn
og Susanne Stender

Vejleder: Klaus Grünbaum
- 103/85 "ØDSLE KOLDKRIGERE & VIDENSKABENS LYSE IDEER"

Projektrapport af: Niels Ole Dam og Kurt Jensen
Vejleder: Bent Sørensen
- 104/85 "ANALOGREGNEMASKINEN OG LORENZLIGNINGER"
af: Jens Jäger
- 105/85 "THE FREQUENCY DEPENDENCE OF THE SPECIFIC HEAT AT THE GLASS
TRANSITION"
af Tage Christensen
"A SIMPLE MODEL OF AC HOPPING CONDUCTIVITY"
af Jeppe C. Dyre
Contributions to the Third International Conference on the
Structure of Non-Crystalline Materials held in Grenoble
July 1985
- 106/85 "QUANTUM THEORY OF EXTENDED PARTICLES"
af Bent Sørensen
- 107/85 "ÉN MYG GØR INGEN EPIDEMI"
- flodblindhed som eksempel på matematisk modellering af et
epidemiologisk problem.
Projektrapport af: Per Hedegård Andersen, Lars Boye, Carsten

Holst Jensen, Else Marie Pedersen og Erling Møller Pedersen
Vejleder: Jesper Larsen

108/85 "APPLICATIONS AND MODELLING IN THE MATHEMATICS CURRICULUM"
- state and trends -
af Mogens Niss

109/85 "COX I STUDIETIDEN"
- Cox's regressionsmodel anvendt på studenteroplysninger
fra RUC
Projektrapport af: Mikael Wennerberg Johansen, Poul Kattler
og Torben J. Andreasen
Vejleder: Jørgen Larsen

110/85 " PLANNING FOR SECURITY "
af Bent Sørensen

111/85 "JORDEN RUNDT PÅ FLADE KORT"
Projektrapport af: Birgit Andresen, Beatriz Quinones og
Jimmy Staal
Vejleder: Mogens Niss

112/85 "VIDENSKABELIGGØRELSE AF DANSK TEKNOLOGISK INNOVATION
FREM TIL 1950 - BELYST VED EKSEMPLER"
Projektrapport af: Erik Odgaard Gade, Hans Hedal, Frank
C. Ludvigsen, Annette Post Nielsen og Finn Physant.
Vejleder: Claus Bryld og Bent C. Jørgensen

113/85 "DESUSPENSION OF SPLITTING ELLIPTIC SYMBOLS 11"
Af: Bernhelm Booss og Krzysztof Wojciechowski

114/85 "ANVENDELSE AF GRAFISKE METODER TIL ANALYSE AF
KONTIGENSTABELLER"
Projektrapport af: Lone Biilmann, Ole R. Jensen
og Anne-Lise von Moos
Vejleder: Jørgen Larsen

115/85 "MATEMATIKKENS UDVIKLING OP TIL RENÆSSANCEN"
af: Mogens Niss

116/85 "A PHENOMENOLOGICAL MODEL FOR THE MEYER-
NELDEL RULE"
af: Jeppe C. Dyre

117/85 "KRAFT & FJERNVARMEOPTIMERING"
af: Jacob Mørch Pedersen
Vejleder: Bent Sørensen